

Grado en Ingeniería Mecánica

Curso 2016-2017

Trabajo Fin de Grado

“Diseño de un útil de laminación e integración de material compuesto”



Javier Mateo Cardeña

Tutor y fecha de presentación:

Federico Martín de la Escalera

Leganés, 5 de octubre de 2017



Título: Diseño de un útil de laminación e integración de material compuesto

Autor: Javier Mateo Cardeña

Tutor en la universidad: Federico Martín de la Escalera

Tutor en empresa: José María Valle Iglesias

EL TRIBUNAL

Presidente: _____

Vocal: _____

Secretario: _____

Realizado el acto de defensa y lectura del Trabajo de Fin de Grado el día ____ de
_____ de 20__ en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad
Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

Agradecimientos

A mis padres, lógicamente.

Resumen

Este Trabajo de Fin de Grado surge debido a mi incorporación a la empresa SerTec S.L (Servicios de Tecnología, Ingeniería e Informática), en marzo de 2017, como consecuencia de mi intención de participar en un proyecto de ingeniería real, y así tener un acercamiento al mundo laboral, a la vez que adquiero conocimientos y experiencia en el sector.

Después de un periodo de aprendizaje con el software de diseño Catia V5, mi labor se centra en ofrecer apoyo técnico en el diseño de un utillaje que permitirá fabricar unos paneles de material compuesto. Concretamente, de polímero termoplástico reforzado con fibra de carbono.

Durante casi cinco meses, he trabajado intensamente en el proceso de diseño del utillaje, y una vez finalizado, he redactado este Trabajo de Fin de Grado, en el cual se detalla el alcance de este proyecto, se realiza una investigación a modo de introducción acerca del amplio mundo de la fabricación de material compuesto y se describe el diseño final de la máquina, así como las consideraciones necesarias para su correcto funcionamiento.

Tabla de contenido

CAPÍTULO I	Introducción	8
1.1	Introducción al proyecto	8
1.2	La empresa SerTec	12
1.3	Motivación del proyecto	13
1.3.1	Experiencia previa	14
CAPÍTULO II	Alcance y objetivos	15
2.1	Alcance	15
2.2	Descripción detallada del utillaje y requisitos técnicos	16
2.2.1	Dimensiones del utillaje	17
2.2.2	Descripción de los cajeados para los largueros	18
2.2.3	Condiciones de trabajo del útil	21
2.2.4	Sistema de succión	21
2.2.5	Sistema de calentamiento	22
2.2.6	Requisitos de material y mecanizado	22
2.2.7	Otras consideraciones	23
2.3	Trabajos a desarrollar	23
2.3.1	Diseño	23
2.3.2	Análisis	24
2.3.3	Fabricación	24
CAPÍTULO III	Fundamentos y estudios previos	25
3.1	Materiales compuestos: Estado del arte	25
3.1.1	Introducción al material compuesto	25
3.1.2	Polímeros reforzados con fibras	27
3.1.3	Materiales compuestos en el sector aeronáutico	31
3.1.4	Procesos de fabricación de los FRP en el sector aeronáutico	35

3.2	Calefacción.....	38
3.2.1	Estudio del método de calefacción.....	38
3.2.2	Resistencias eléctricas	38
3.3	Materiales aislantes.....	40
3.3.1	Recubrimiento interior (vermiculita).....	41
3.3.2	Recubrimiento exterior (lana de roca)	42
3.4	Puente térmico.....	45
3.5	Junta	46
3.6	Adhesivos.....	49
3.7	Elementos comerciales	51
CAPÍTULO IV	<i>Diseño final del utillaje</i>	54
4.1	Descripción general	54
4.2	Conjunto superior ("TFG-10000")	58
4.2.1	Conjunto cámara de vacío ("TFG-11000")	59
4.2.2	Conjunto de aislantes ("TFG-12000")	66
4.3	Conjunto inferior ("TFG-20000")	68
4.3.1	Conjunto soldado ("TFG-21000")	69
4.3.2	Conjunto carcasa ("TFG-22000")	70
4.3.3	Conjunto puente térmico ("TFG-23000")	71
4.3.4	Conjunto puesto de mando ("TFG-24000")	73
4.3.5	Comerciales ("TFG-20000-STD01")	73
4.4	Conjunto del sistema de succión ("TFG-30000")	74
CAPÍTULO V	<i>Conclusiones</i>	78
CAPÍTULO VI	<i>Anexos</i>	81
CAPÍTULO VII	<i>Bibliografía</i>	104

CAPÍTULO I

Introducción

1.1 Introducción al proyecto

En el competitivo ambiente del sector aeronáutico resulta necesario mejorar la eficiencia y rendimiento de las aeronaves para reducir los costes de operación y trabajo de forma considerable.

Para desarrollar este aspecto, una contribución importante resulta ser el aminoramiento de peso de la aeronave, mediante el uso de materiales más ligeros pero con buenas propiedades mecánicas, como son los materiales compuestos (3.1 más adelante) [1].

Los materiales se pueden combinar de distintas formas, aunque en el ámbito estructural es predominante la fibra compuesta con polímeros termoestables (especialmente la resina epoxi), debido a las buenas propiedades mecánicas que presenta esta combinación. Existen numerosos procesos distintos para elaborar este tipo de materiales, dependiendo de la aplicación del producto, de las dimensiones y otros factores, pero en la mayoría de los casos se requiere del uso de una autoclave. Esto es un recipiente de grandes dimensiones donde se lleva a cabo el curado del material a elevadas temperaturas y presiones, lo cual resulta ser un proceso ineficiente y costoso [2; 3].

Por otro lado, durante los últimos años se han desarrollado nuevos materiales compuestos por fibra y polímeros termoplásticos. Estos polímeros,

por lo general, tienen peores propiedades que los termoestables. Sin embargo, algunos de ellos como el PEEK (Poliéterétercetona), sí están ofreciendo propiedades similares, y al ser reforzados con fibra, se obtienen compuestos con elevada resistencia mecánica y química, al nivel de los que se consiguen con polímeros termoestables, o incluso superiores [4; 5].

Es por eso que investigaciones financiadas por *OEMs Airbus y The Boeing Company* están dando como resultado nuevas maneras de fabricar ciertos elementos estructurales de termoplástico y fibra, algunos de ellos con importancia crítica para el vuelo [6]. Por ejemplo, todo el borde de ataque del Airbus A380 (avión comercial más grande del mundo hasta la fecha) está formado por el polímero termoplástico PPS (Polisulfuro de Fenileno) reforzado con fibra de vidrio [7]. Ver Ilustración I-1.



Ilustración I-1. Airbus A380. [Fotografía de Master Film, A. Doumenjou].

Una de las ventajas de utilizar polímeros termoplásticos es que, por lo general, su fabricación es más sencilla y no dependen tanto del uso de una autoclave para su curado, lo que puede reducir en gran medida los costes y tiempos de fabricación.

Siendo esto así, nuevas tecnologías de fabricación sin necesidad de autoclave están siendo investigadas en una serie de proyectos financiados por

Airbus Defence and Space (Getafe). Por ejemplo, durante los últimos años, en la Fundación para la Investigación, Desarrollo y Aplicaciones de Materiales Compuestos (FIDAMC) (Getafe), se han estado desarrollado tecnologías de fabricación basadas en **laminado automatizado**, con la peculiaridad de incluir calentamiento por rayo láser para conseguir una consolidación o **curado en el momento**, y así prescindir del uso de una autoclave [6; 8].

Actualmente, la FIDAMC se encuentra en pleno periodo de investigación y desarrollo de estas tecnologías de fabricación sin necesidad de autoclave, trabajando con polímeros termoplásticos como el PEEK, reforzados con fibra de carbono. Uno de los proyectos consiste en la fabricación de una estructura rigidizada por unos largueros previamente fabricados. La idea es que la estructura se fabrique mediante un utillaje que permita integrar los largueros al resto del panel al mismo tiempo que se lamina la piel con las técnicas de laminado automatizado [9].

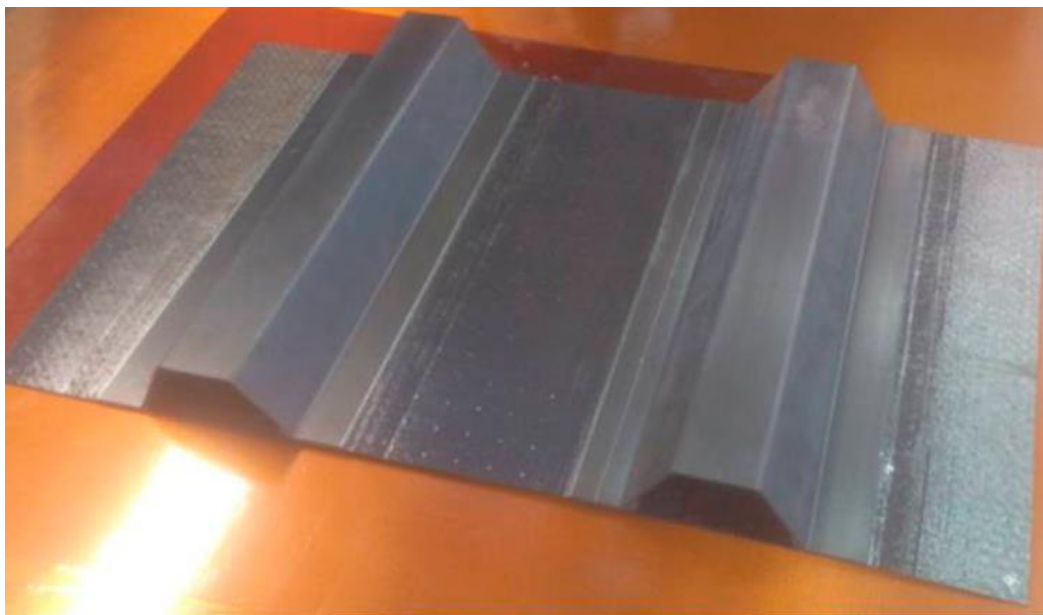


Ilustración I-2. Ejemplo de estructura de material compuesto rigidizada por unos largueros (Proyecto ISINTHER, propiedad de FIDAMC) [9].

Siguiendo esta línea de investigación, el presente proyecto abarcará el diseño de un utillaje enfocado a pruebas de fabricabilidad para elaborar unos paneles prototipo, atendiendo a las condiciones y requisitos impuestos por el cliente (ver apartado 2.2). Los paneles estarán formados por un laminado plano y unos largueros en forma de “T”.

A largo plazo, se pretende conseguir una nueva forma de fabricación de las pieles superiores (*Upper skin*, en inglés) que forman parte de un cajón de ala de avión, que incluyen unos largueros (*Stringers*) a lo largo del mismo, encargados de soportar principalmente los esfuerzos a compresión provocados durante el vuelo [2; 10].

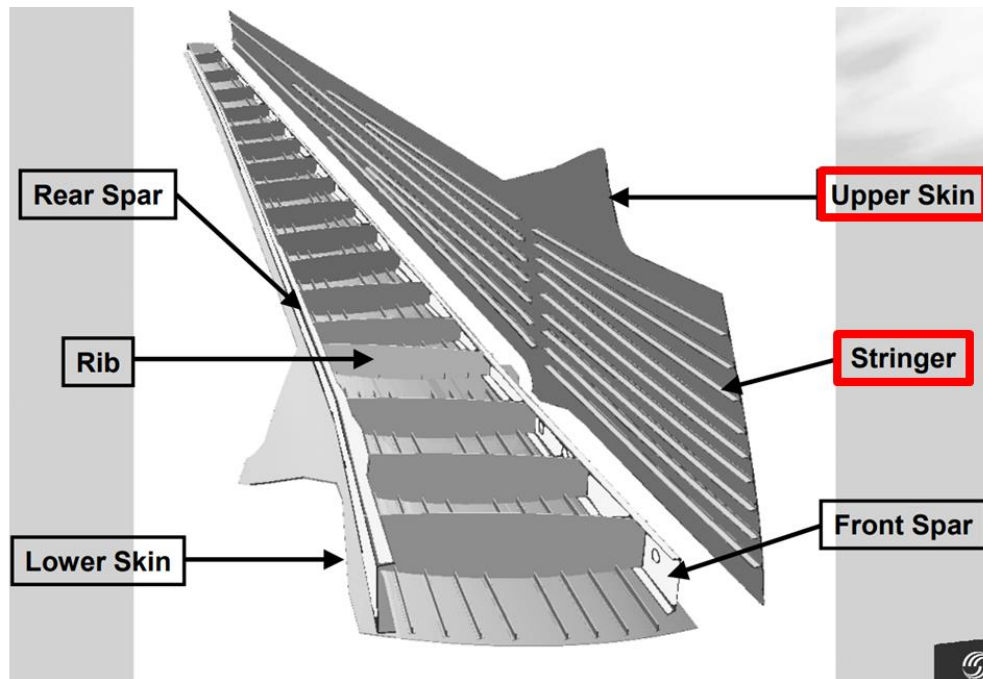


Ilustración I-3. Principales partes de la caja que forma un ala de avión (Wingbox) [10].

El utillaje a diseñar consistirá en una estructura con una placa superior sobre la que se laminará el material, y deberá incluir sistemas de calefacción y vacío, además de otras consideraciones. La herramienta automatizada que coloca las fibras es independiente a este utillaje, y consiste en un cabezal que se basa en la tecnología de encintado automático (*Automated Tape Laying, ATP*). Una de las compañías con experiencia en esta técnica de fabricación es el Grupo MTorres (sede en Pamplona, Navarra), quien ha fabricado diversas máquinas especiales para la fabricación de componentes aeronáuticos para clientes de todo el mundo [11].



Ilustración I-4. Ejemplo de máquina de encintado automático para componentes estructurales aeronáuticos a gran escala. (TORRESLAYUP, grupo MTorres).

En el Capítulo II se detallarán las condiciones, dimensiones y requisitos necesarios para la creación de este útil.

1.2 La empresa SerTec



SerTec S.L. (*Servicios de Tecnología, Ingeniería e Informática*), es una compañía española con más de 20 años de experiencia, cuyas actividades se centran en la ingeniería, pruebas e instrumentación de estructuras, materiales compuestos, herramientas y sistemas de control, así como automatización y sistemas. Ha desarrollado, diseñado e integrado utillajes o sistemas para empresas como Airbus, Boeing, Indra o Talgo, entre otras [12].



Ilustración I-5. Fotografía de la sede de Sertec. Parque Tecnogetafe. Getafe, 2016

[Rolland K., Google Maps].

Está situada en el parque tecnológico de Tecnogetafe, un espacio con instalaciones de gran calidad donde se estimula el flujo de conocimiento y tecnología entre universidades e instituciones de investigación, empresas y mercados [13].

1.3 Motivación del proyecto

SerTec actúa como empresa subcontratista ofertando proyectos a otras compañías (principalmente del sector aeroespacial), las cuales presentan una especificación con los requisitos técnicos necesarios para el desarrollo del proyecto que desean subcontratar.

El suministrador, en este caso SerTec, presentará una oferta que contendrá información técnica (descripción, croquis de definición, planificación, normas...) y económica (presupuesto, periodo de validez...).

En este caso, la empresa cliente solicita el diseño y fabricación de un utillaje con capacidad de calefacción para laminación de material compuesto, y SerTec propone su oferta basándose en experiencia previa de utillajes similares.

Para la redacción de este Trabajo de Fin de Grado, el autor se reserva el derecho de detallar el nombre de la empresa cliente.

1.3.1 Experiencia previa

Durante los años 2014 y 2016, SerTec ha diseñado y fabricado otros utillajes prototipo para proyectos similares. En las Ilustración I-6 Ilustración I-7 se muestran algunos ejemplos de utillajes de laminación similares.



Ilustración I-6. Útil de laminación "2014/32-UT-01" (SerTec).

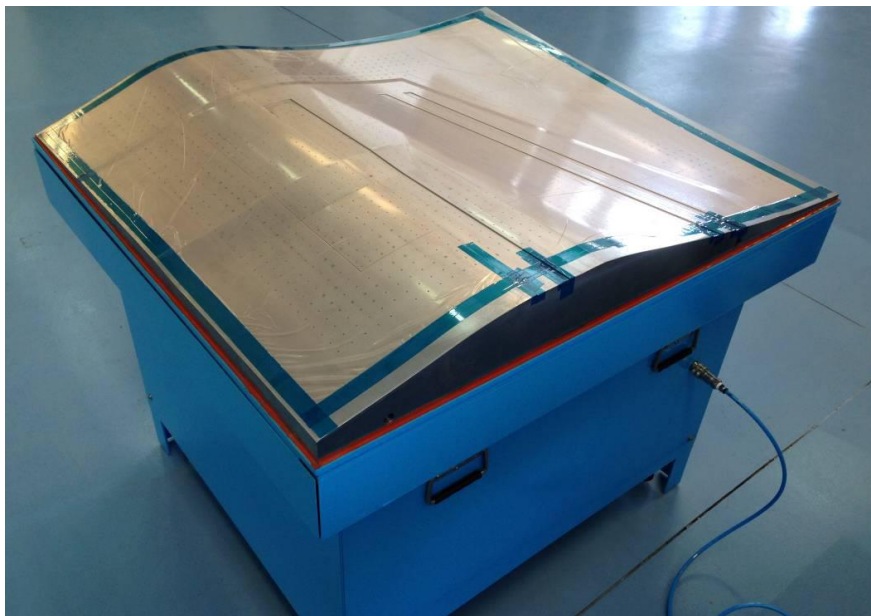


Ilustración I-7. Útil de laminación "2015-15-UT-01" (SerTec).

CAPÍTULO II

Alcance y objetivos

2.1 Alcance

Como se ha explicado anteriormente, el objeto del presente proyecto es diseñar mediante Catia V5 un utillaje, con capacidad de calefacción y vacío, enfocado a pruebas de fabricación de una piel superior de ala de avión, que incluye larguerillos en forma de “T”.

Estos largueros rigidizadores, también hechos de fibra de carbono y PEEK, se habrán obtenido previamente mediante otro útil independiente a este proyecto, y deberán ser integrados a posteriori al resto del panel, a la vez que se realiza la laminación de la piel del panel.

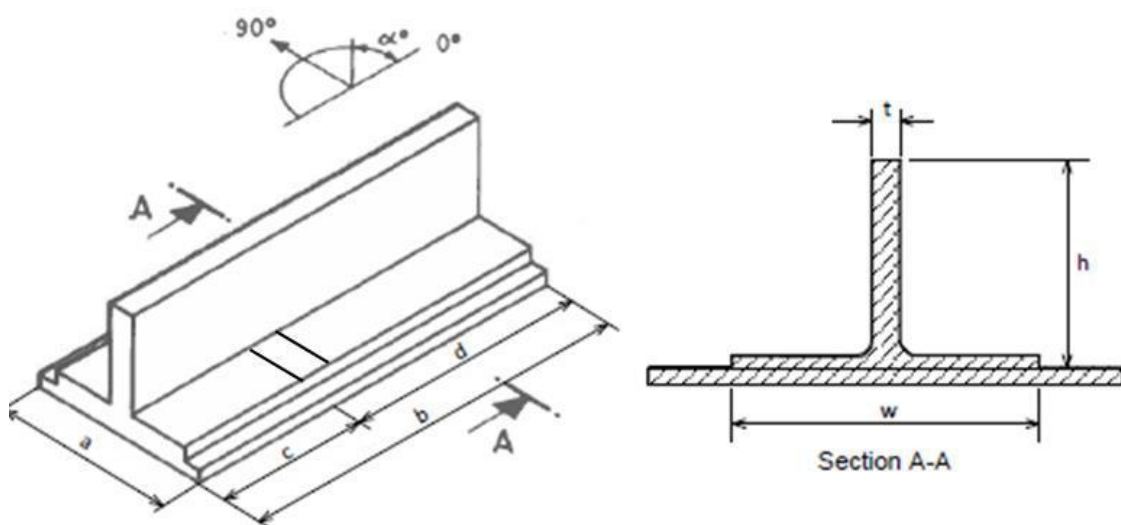


Ilustración II-1. Concepto de los largueros con dimensiones genéricas [imagen ofrecida en la especificación del cliente].

El panel a fabricar será de dimensiones reducidas, es decir, no tendrá el tamaño real del ala, dado que el objeto de la fabricación del panel es el estudio de la viabilidad del mismo. Tampoco se fabricará con la curvatura alar correspondiente, sino que consistirá en un elemento plano. Los requisitos y detalles del diseño del presente proyecto se especifican en el apartado 2.2.

El alcance de este Trabajo de Fin de Grado sólo abarca el proceso de diseño del utillaje en Catia V5, además de los estudios previos relativos a los fundamentos del diseño. También, se realiza una investigación acerca del estado de los materiales compuestos y las tecnologías de fabricación en la industria aeronáutica.

No se hará referencia a documentos relacionados con otras fases de producción del utillaje como son: Actas de reunión, organigramas de dirección del proyecto, planificación del proyecto, gestión y planes de compra de los elementos estándar, envíos y recepciones, control de inspecciones, ensayos y pruebas, certificados de conformidad del producto, control detallado de costes o albaranes, montaje del útil y transportes.

Este proyecto con finalidad académica se limitará a recopilar los trabajos de diseño e investigación acerca del utillaje, reservando cualquier tipo de información interna no pública perteneciente a la empresa SerTec, como lo mencionado en el párrafo anterior.

2.2 Descripción detallada del utillaje y requisitos técnicos

El utillaje tendrá forma de mesa, con una placa superior de acero donde se colocarán los largueros previamente, y la piel se laminará por encima de ellos formando el panel completo que los contiene.

La placa deberá contener unos cajeados con la forma de los largueros, para que éstos sean colocados, y el resto de la piel se lamine sobre ellos.

Además, se deberá tener en cuenta que, durante el proceso, el material de los largueros estará sometido a varios ciclos de calentamiento y enfriamiento, lo cual producirá ciertas tensiones residuales. Para minimizar este daño, se deberá usar un molde con capacidad de calefacción, es decir, que se mantenga a una temperatura en torno a los 250 °C durante el tiempo que se está laminando el material. Además, el calor facilitará el proceso de adhesión de los largueros a la piel laminada.

Para ello, se deberá llevar a cabo un estudio de los diferentes métodos de calefacción que se pueden utilizar, además de un estudio térmico de los materiales del molde.

Por otro lado, para asentar y sostener el laminado en la placa durante el proceso de fabricación, se utilizará un sistema de succión que asegure el material en su posición mientras se produce el laminado de la piel del panel. Para esto, el utillaje contendrá una cámara de vacío justo debajo de la placa, la cual estará perforada para succionar el material encintado en la superficie.

En resumen, el utillaje debe incluir la placa sobre la que se lamina el material, el sistema de calefacción y el sistema de succión con la cámara de vacío, además de toda la estructura que lo sostiene. En los próximos apartados, se describen los requisitos técnicos detallados impuestos por la empresa contratista.

2.2.1 Dimensiones del utillaje

- El espacio perforado para realizar la succión será de 1100 x 1100 mm, con una longitud de 100 mm a cada lado sin taladrar. Con esto, las dimensiones totales de la mesa serán de 1300 x 1300 mm.
- El espesor de la placa será el suficiente para trabajar en las condiciones de trabajo dadas.
- En condiciones de trabajo, la placa debe quedar a 860 mm del suelo.

A continuación, se muestra una imagen (Ilustración II-2) que muestra la idea conceptual de la placa base perforada. El espacio donde se mecanizan los cajeados no es necesario que sea perforado.

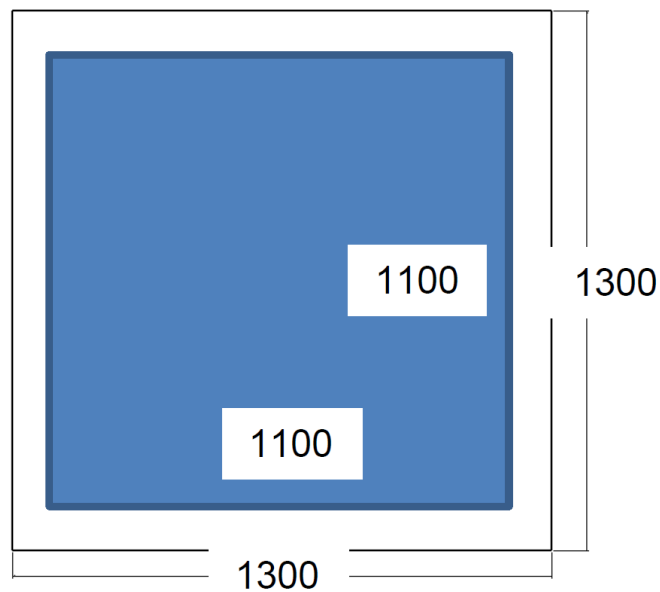


Ilustración II-2. Dimensiones de la placa. En azul la zona perforada [imagen ofrecida en la especificación del cliente].

2.2.2 Descripción de los cajeados para los largueros

La placa metálica debe tener mecanizados los cajeados donde se introducirán los largueros rigidizadores. Éstos serán tres, dos largueros con estajes y un larguero plano.

2.2.2.1 Larguero central sin estajes

El cajeadado a situar en el centro de la placa debe tener una superficie plana puesto que este larguero no contendrá estajes. En las ilustraciones Ilustración II-3 e Ilustración II-4, se muestra la geometría del cajeadado en forma de “T” con sus respectivas cotas (en milímetros):

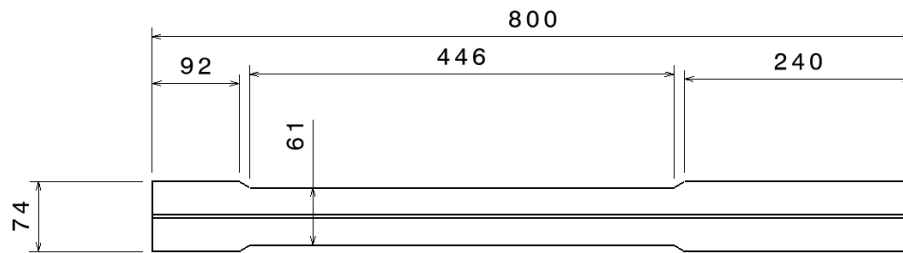


Ilustración II-3. Vista de planta del larguero central [imagen ofrecida en la especificación del cliente].

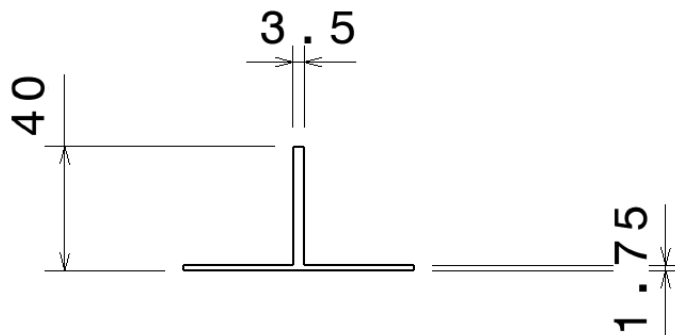


Ilustración II-4. Vista de sección del larguero central [imagen ofrecida en la especificación del cliente].

Los ejes centrales del cajeadado deben coincidir con los ejes de simetría de la placa. Es decir, debe quedar completamente centrado.

2.2.2.2 Largueros exteriores con estajes

Por otro lado, a ambos lados del cajeadado central se situarán dos cajeados para los largueros con estajes.

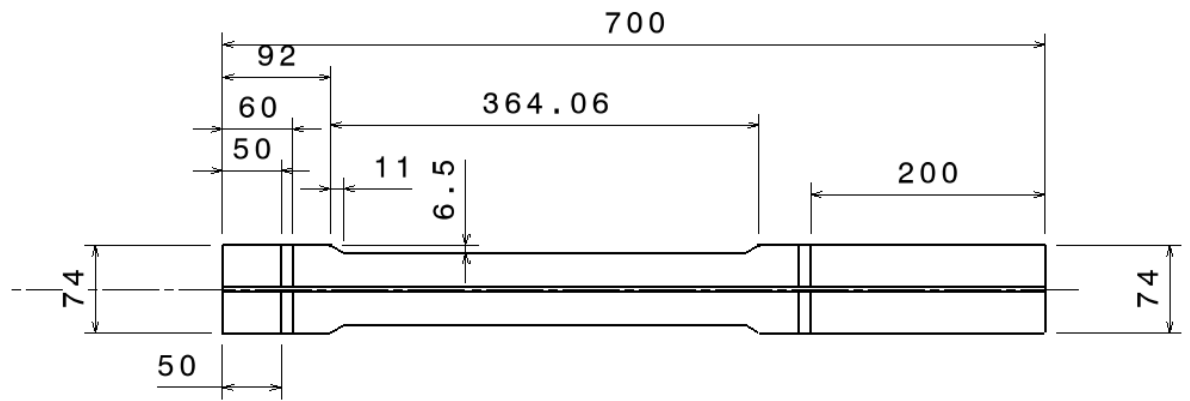


Ilustración II-5. Vista de planta de los largueros exteriores [imagen ofrecida en la especificación del cliente].

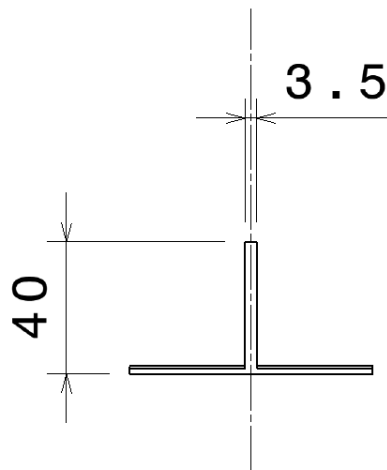


Ilustración II-6. Vista de sección de los largueros exteriores [imagen ofrecida en la especificación del cliente].

Las líneas transversales de la primera vista representan el cambio de pendiente correspondiente a los estajes. La dimensión y forma de los mismos se detalla en Ilustración II-7.

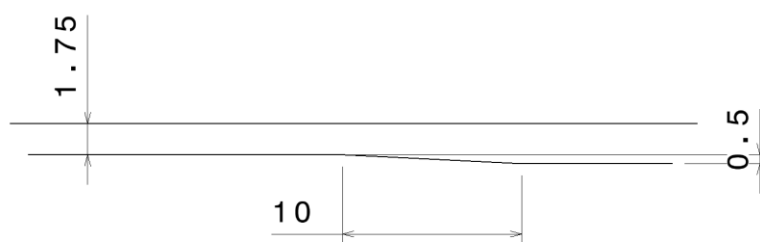


Ilustración II-7. Detalle de estaje estándar [imagen ofrecida en la especificación del cliente].

Estos largueros se alinearán como muestra en la Ilustración II-8.

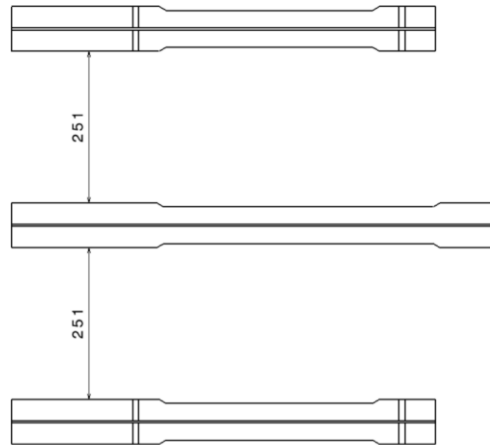


Ilustración II-8. Esquema para la colocación de los largueros en la placa [imagen ofrecida en la especificación del cliente].

2.2.3 Condiciones de trabajo del útil

El cliente impone las siguientes condiciones de trabajo:

- Calentar a temperatura de trabajo de 250°C.
- Soportar temperatura máxima puntual de 450°C.
- Soportar una fuerza puntual de 500 N.
- Flecha máxima admitida: 0.2 mm.

2.2.4 Sistema de succión

La placa superior estará perforada con orificios de 1.5 mm de diámetro espaciados una distancia de 20 mm a lo largo y ancho de toda la superficie.

Por otro lado, la mesa estará dotada de una cámara sellada en su interior, donde se generará un vacío que producirá un efecto de succión en el laminado que se colocará sobre la superficie de la placa.

El vacío se generará mediante una bomba externa independiente a este proyecto, que se conectará a la cámara de la mesa mediante una toma de alta temperatura colocada en una zona accesible del utillaje. Las pérdidas de vacío permitidas (tras desconexión de toma) son 0.05 bar en 5 minutos.

2.2.5 Sistema de calentamiento

La mesa tendrá un sistema interno de calentamiento que permita alcanzar una temperatura uniforme de $250^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ en toda la superficie de la placa.

El sistema tendrá un módulo de control para seleccionar la temperatura de trabajo (hasta 250°C), con al menos 5 puntos de control de temperatura situados en el centro y diagonal, siempre en la zona de contacto con la pieza.

2.2.6 Requisitos de material y mecanizado

- La placa debe tener una tolerancia geométrica de 0.1 mm con respecto al modelo (planitud). El material será acero al carbono de construcción.
- El acabado superficial de la placa será 1.6 en la zona de encintado (superficie superior agujereada) y 3.2 en el resto de superficies, eliminando en todos los casos las huellas de herramienta.
- Las aristas vivas tendrán un redondeo de 2 mm.
- En las zonas de encintado se realizarán tratados superficiales con tapaporos para evitar corrosión.

2.2.7 Otras consideraciones

- Los tiempos de trabajo de la mesa serán prolongados, por lo que debe mantener las condiciones de trabajo de modo continuo.
- La estructura soporte tendrá ruedas retráctiles y patas regulables.
- Los módulos y la estructura soporte llevarán cáncamos roscados en número y tamaño suficiente de acuerdo al peso.
- La mesa deberá ir grabada con líneas de referencia de 0.2 mm, a modo de roseta, y tres puntos de alineamiento. También, se deberá marcar la superficie de laminación, que consiste en un cuadrado de 900 x 900 mm centrado en la placa.
- La carcasa exterior irá pintada en azul.
- Ninguna de las partes se someterá a presión de autoclave.

2.3 Trabajos a desarrollar

En este apartado se describirán las principales tareas para el cliente que Sertec llevará a cabo. Sin embargo, este Trabajo de Fin de Grado se ceñirá al apartado del diseño, ya que es el departamento en el que el alumno ha trabajado.

2.3.1 Diseño

Se diseñará el utillaje en CAD (Diseño Asistido por Ordenador) por medio del software de diseño Catia V5 R21.

Se diseñarán todas las partes que componen la máquina con pleno detalle (soporte de la estructura de la mesa y su tornillería, sistema de calefacción, cámara de vacío, sistema de succión...) y demás elementos que conformen el útil de laminación cumpliendo los requisitos indicados.

Además, se procederá a la edición de toda la documentación en 2D necesaria para la fabricación y el montaje del útil.

2.3.2 Análisis

Mediante el software de elementos finitos *Nastran* se procederá a realizar los análisis pertinentes para comprobar la estabilidad estructural de la mesa. Se comprobará que las patas sean capaces de soportar adecuadamente el peso del módulo mecanizado superior junto con la cámara de vacío.

Además, se realizará un estudio térmico para comprobar la estabilidad frente a cambios de temperatura.

Estos análisis serán realizados por el departamento de cálculo de Sertec, y se considerarán como un trabajo independiente al diseño del utillaje en Catia V5, que es el propósito del presente trabajo. Por lo tanto, no se entrará en detalle acerca de los resultados y el proceso de cálculo estructural.

2.3.3 Fabricación

Por otro lado, una vez concluida la fase de diseño, la fabricación del utillaje se subcontratará a una empresa subcontratista de Sertec. Para ello, Sertec deberá aportar los planos 2D y el diseño en 3D del utillaje.

Los planos de cada uno de los elementos no serán incluidos en este proyecto debido a cuestiones de confidencialidad con el cliente, sin embargo, en el Anexo A de este documento se incluyen algunos planos del conjunto y de la placa superior a modo de orientación.

A pesar de no pertenecer a este trabajo, destacar que el alcance de la fabricación incluirá: materiales de acero para transformación, soldadura, aliviado de tensiones, mecanizado en afino, verificación dimensional y el granallado y pintura (zonas no mecanizadas).

CAPÍTULO III

Fundamentos y estudios previos

3.1 Materiales compuestos: Estado del arte.

Se propone realizar un trabajo de investigación para conocer el estado actual de los materiales compuestos en el ámbito aeronáutico, así como los procesos de fabricación. Para ello, se debe entender previamente qué es y cómo funciona un material compuesto. Los apartados 3.1.1 y 3.1.2 servirán de introducción para explicar los fundamentos básicos de dichos materiales, los cuales están cobrando cada vez más importancia en la industria debido a sus grandes ventajas.

Por otro lado, en los apartados 3.1.3 y 3.1.4 se profundizará acerca del uso de materiales compuestos en el sector aeronáutico, así como de los métodos de fabricación.

3.1.1 Introducción al material compuesto

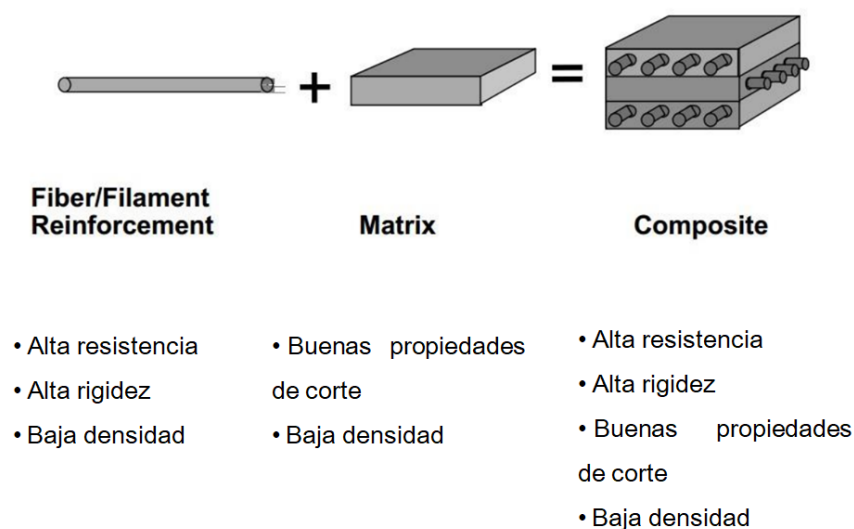
A grandes rasgos, se clasifican los materiales que se podrían utilizar para fabricar elementos estructurales en tres grandes grupos: los metales, los polímeros y los cerámicos. Los metales tienen buenas propiedades mecánicas, pero pierden resistencia a elevadas temperaturas. Los polímeros tienen el

mismo problema, incluso a temperaturas menores. Y los cerámicos son demasiado frágiles, a pesar de que resisten a temperaturas muy altas. Es por esto motivo que nace la idea de crear nuevos materiales que combinen las ventajas de los anteriormente mencionados [14; 10].

El material compuesto, como su propio nombre indica, es una mezcla de dos materiales de composición distinta y mutuamente insolubles, que se combinan para formar otro. Los dos compuestos que lo forman son la matriz y el agente reforzante.

Existen muchos tipos de combinaciones (metal-cerámico, metal-polímero...), pero en aplicaciones estructurales se habla de materiales compuestos avanzados, conocidos como **Polímeros Reforzados con Fibras** (*FRP*, por la denominación en inglés *Fibre-Reinforced Plastic*). El plástico hace de matriz, que transmite los esfuerzos de unas fibras a otras, aporta cohesión y configura la geometría del material. Las fibras hacen de agente reforzante, y es el material que aporta la rigidez y resistencia [15].

Otros tipos de combinaciones son, por ejemplo, la cerámica con metal o el barro con paja. Pero, para el caso de este proyecto, se estudiarán únicamente los polímeros reforzados con fibras (3.1.2 más adelante). En la Ilustración III-1 se muestra la idea conceptual de la composición y sus propiedades.



3.1.2 Polímeros reforzados con fibras

Un aspecto clave a destacar sobre los polímeros reforzados con fibras es su anisotropía, es decir, que las propiedades del compuesto dependen estrictamente de la dirección en la que se hace la medición. Esto no ocurre con los materiales isotrópicos tradicionales como el acero o las aleaciones de aluminio, cuyas propiedades no dependen de la dirección en la que se miden, o lo hacen de forma despreciable.

Por ejemplo, unas fibras colocadas de forma unidireccional tendrán mucha mayor resistencia a la tracción en la dirección longitudinal (0°) que en la dirección transversal (90°). Por eso, la opción más equilibrada es una configuración con fibras apiladas en distintas capas, de forma bidireccional o multidireccional, es decir, combinando dos o más direcciones [16].

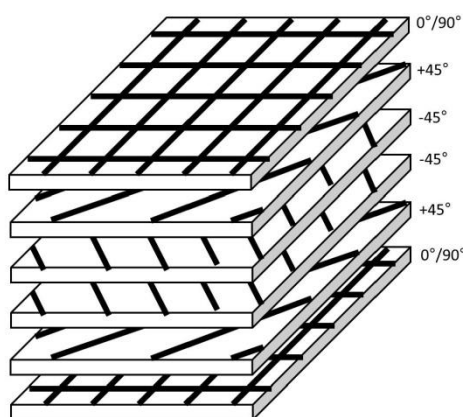
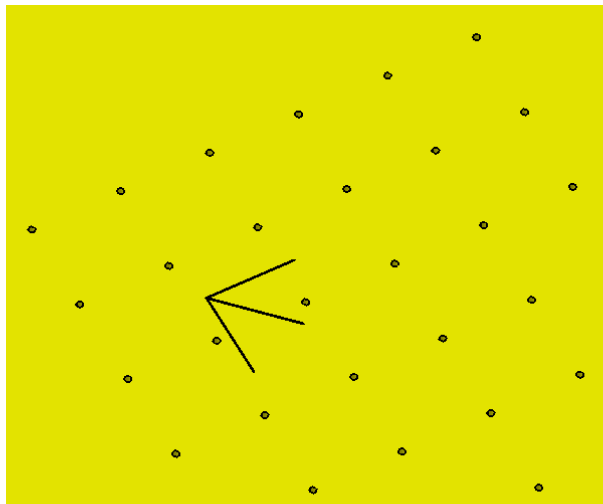


Ilustración III-2. Esquema de ejemplo de apilado de capas con fibras con distintas orientaciones [17].

En el caso de este proyecto, se ha marcado en la placa de laminación una roseta a modo de guía para facilitar la orientación de las fibras durante su colocación.



*Ilustración III-3. Detalle del grabado en la placa para la orientación de las fibras
[captura del diseño en Catia V5].*

La forma de configurar el material en la cual se apilan finas capas de fibra y matriz consecutivamente hasta alcanzar el espesor deseado se denomina **laminado**. Este tipo de construcción es el más habitual y es el que concierne a este proyecto, ya que será el método utilizado para la fabricación de los paneles [18].

Sin embargo, cabe mencionar que también es frecuente la configuración de tipo **sándwich**. Consiste en una estructura multicapa que contiene un núcleo de un material generalmente con poca densidad y propiedades mecánicas medias (por ejemplo, maderas naturales o espumas sintéticas) [19], embebido por dos finas pieles de material compuesto, mucho más resistente. No obstante, también existen configuraciones sándwich donde el núcleo es el material compuesto y las pieles son aleaciones de aluminio, algo que destaca por su gran resistencia a fatiga y tolerancia al daño [18].

A continuación, se describirán brevemente las características de las fibras y de los polímeros que forman la matriz, entre los cuales se diferencian los polímeros termoestables y los termoplásticos.

3.1.2.1 Fibras o refuerzos

Las fibras son elementos muy esbeltos en cuanto a dimensiones (mucho más largos que anchos), que pueden ser naturales o producidas

sintéticamente. La fibra de carbono y la fibra de vidrio son las más habituales, siendo esta última más económica y usada en aplicaciones menos exigentes. En menor medida, también es frecuente el uso de fibras orgánicas como el Kevlar (fibras de Armida) [15; 16].

Para este proyecto, se utilizará la fibra de carbono como refuerzo al termoplástico que hace de matriz (PEEK) para formar el material compuesto de los paneles alares. La fibra de carbono, al igual que otras fibras sintéticas, es producida a partir de un polímero precursor, que generalmente es poliacrilonitrilo (PAN), mediante un largo y complejo proceso que involucra sucesivas etapas químicas [3].

Comúnmente, se conoce como CFRP a los polímeros reforzados con fibra de carbono (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*) [20].

3.1.2.2 *Polímeros termoestables*

Estas resinas se presentan en estado líquido o poco viscoso, y para su procesamiento son sometidas a un proceso de curado, donde se producen reacciones químicas que forman estructuras reticuladas, y el material es solidificado, siendo éste un proceso no reversible [16].

Estas reacciones se producen con la aplicación de calor o por medio de un agente catalizador. Para elaborar piezas grandes, históricamente se han utilizado autoclaves de grandes dimensiones que requieren gran cantidad de energía, además de ser un proceso lento, lo que se traduce en un método poco eficiente. Por ello, en los últimos años se han desarrollado nuevos métodos de curado basados en electrotecnologías [3]. Como se explicó en el Capítulo 1, este utillaje contribuirá al desarrollo de la tecnología basada en la laminación automatizada con curado en el momento, mediante rayo láser.

En otro orden de cosas, destacar que la principal ventaja de los termoestables es que gozan de mejores propiedades que los termoplásticos, debido a que se forman redes tridimensionales y ordenadas durante el curado (conocido como estructura cristalina). Además, pueden resistir temperaturas muy altas, ya que es un proceso irreversible, y una vez que la resina ha pasado a estado sólido, no volverá a fundirse aplicando calor [21; 16].

Las matrices de resinas termoestables son las más usadas, aproximadamente el 80% de los materiales compuestos tienen una matriz de polímero termoestable. Por lo general se emplean resinas epoxis, por su elevada resistencia mecánica, química y térmica. También son frecuentes las resinas de poliéster, de coste reducido, o viniléster, con una gran resistencia al impacto [21].

3.1.2.3 Polímeros termoplásticos

Por otro lado, las resinas termoplásticas están formadas por largas y discontinuas moléculas que se funden a un estado líquido-viscoso al alcanzar la temperatura de procesamiento (entre 260°C y 3710°C, según el material). Al bajar la temperatura, las uniones entre las cadenas vuelven a reforzarse, retornando el material a un estado sólido, que pueden formar estructuras tanto amorfas, como cristalinas o semicristalinas [16].

Al contrario que con los termoestables, este proceso sí es reversible, y las resinas se pueden procesar varias veces si se vuelven a calentar. El proceso de calentamiento es mucho más rápido y eficiente que el curado de los termoestables, y por ello los termoplásticos son ventajosos desde el punto de vista de la fabricación.

Otra ventaja de las resinas termoplásticas es que son más resistentes a roturas e impactos. Una de ellas es el PEEK, mencionado en la introducción, ya que es el material que se utilizará en el laminado de los paneles del presente proyecto. Otro tipo de resina termoplástica es la Poliamida (Nylon), con un alto componente cristalino, y por lo tanto elevada resistencia.

En la Tabla III-1 se muestra una comparación de las propiedades típicas de distintas combinaciones de fibras (de carbono, de vidrio y Kevlar) con resinas termoestables (Epoxi y Fenólica) y con termoplásticas (PEEK) [5].

Material Type	Nomenclature	Tensile Strength (ksi)	Modulus (Msi)	Strain (%)
Carbon/Epoxy	T300/934	245	20	1.0-1.2
	IM7/8551-7	400	24	1.62
	P75/934	135	44	0.2-0.5
	AS4/3501-6	100	10	1.0
	IM6/3501-6	330	23	1.5
Glass/Epoxy	E-glass/934	150-170	6-8	2.75
Kevlar®/Epoxy	K-49/7934	80-85	4	1.85
Carbon/PEEK	IM7/APC-2	419	24	1.6
Carbon/Phenolic	FM5055	15-20	2.6-2.8	1.0-1.2

Tabla III-1. Típicas propiedades de materiales compuestos [Design and manufacturing guideline for aerospace composites. California Institute of Technology (NASA)]

Nota: Todos los ejemplos ensayados con una configuración de 16 capas cuasi-isotrópica.

Se puede observar que la configuración que puede lograr mejores propiedades es la fibra de carbono con resina epoxi o con PEEK, superando los 2.500 Mpa de resistencia a la tracción y con un módulo elástico de más de 150.000 Mpa, los casi triplicando las propiedades de la fibra de vidrio con resina epoxi.

3.1.3 Materiales compuestos en el sector aeronáutico

El primer acercamiento a los materiales compuestos para la construcción de estructuras aeronáuticas se llevó a cabo en la década de 1950 con el avión comercial Boeing 707, con un 2% de su estructura formada por fibra de vidrio y resina epoxi, siendo el resto de la estructura de metal [22]. Con el paso de los años, se fueron desarrollando nuevas formas de combinar fibra y resina, y entre los años 60 y 80 surgieron algunos aviones militares y comerciales con pequeños elementos fabricados de material compuesto [23].

A día de hoy, los aviones que destacan por hacer un mayor uso de materiales compuestos son el **Airbus A350** y del **Boeing 787 Dreamliner**. Los cuerpos de estos aviones están compuestos de un 53% y un 50%, respectivamente, de **FRP** (Polímeros reforzados con fibra) [24; 25] .

Airbus siempre ha sido la compañía pionera en cuanto al desarrollo de aeronaves fabricadas con materiales compuestos. El mayor logro se ha conseguido con el **Airbus A350 XWB** (primer vuelo en el año 2013), con un 53% de su estructura fabricada de **FRP** (Polímeros reforzados con fibra), lo que le sitúa como el avión con mayor ratio de porcentaje en peso de materiales compuestos hasta la fecha [24].



Ilustración III-4. Ensamblaje del Airbus A350 XWB, formado principalmente por material compuesto. Toulouse, Francia. [sclnews.com]

Por su parte, Boeing ha fabricado el **Boeing 787 Dreamliner** (primer vuelo en el año 2009), con un cuerpo formado por materiales compuestos en un 50%. Como se aprecia en la Ilustración III-5, en el Boeing 787 predomina la fibra de carbono en todo el fuselaje y parte de las pieles alares, aunque también están hechas de fibra de vidrio. Los bordes de ataque son de aluminio, y la mayor parte de los motores es de fibra de carbono en configuración de sándwich.

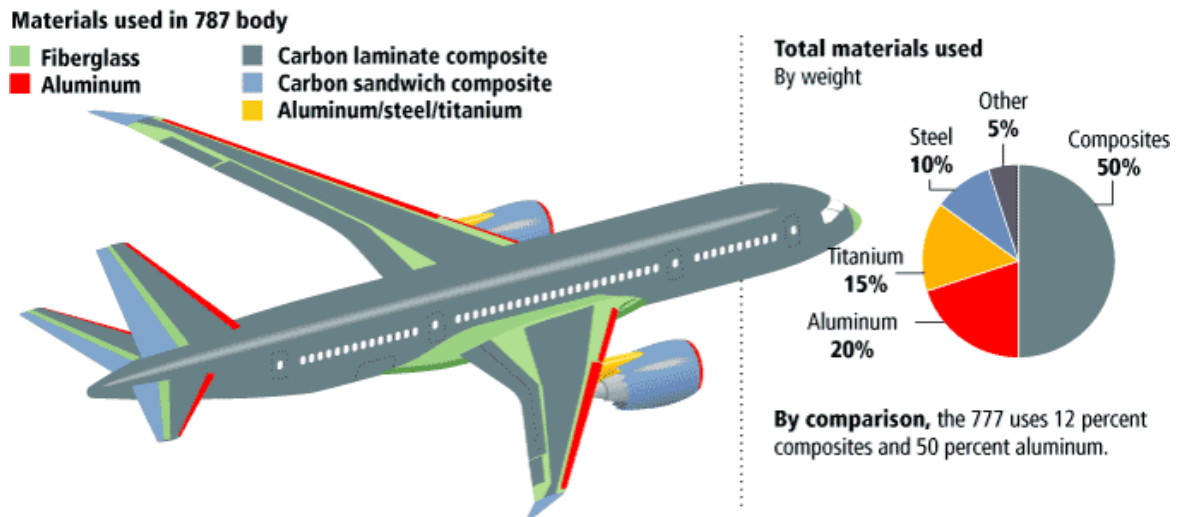


Ilustración III-5. Materiales utilizados en el cuerpo del Boeing 787 [14].

En total el 50% de la estructura principal está formada íntegramente por material compuesto, un dato significativo en comparación con el modelo predecesor, el **Boeing 777** (del año 1994), el cual está formado por un 12% de material compuesto, un 50% de aluminio y el resto de titanio y otros metales [25].

Estos dos aviones son el mayor ejemplo del buen uso de los materiales compuestos en la industria aeronáutica. Son el resultado de un grandísimo trabajo de ingeniería, mediante el cual colocar el material más óptimo para lograr las mejores condiciones de operación según la aplicación en cada área del avión. Por ejemplo, el aluminio es más sensible a los esfuerzos de tracción que a los de compresión, al contrario que los **FRP**, cuyo punto fuerte es su resistencia a tracción [25].

A continuación, se recopila una lista de las ventajas e inconvenientes acerca del uso de estos materiales en la industria aeronáutica [26; 14; 25].

Ventajas:

- La reducción del peso de la aeronave. Esto conlleva menor consumo de combustible, lo cual permite utilizar depósitos más pequeños, lo cual supone otra reducción importante del peso. Con lo cual, el ahorro final es significativo.

- Tienen una alta resistencia a la fatiga, mayor que el aluminio. Esto les hace ser fiables, y por tanto se reduce el coste de mantenimiento de la aeronave debido a este fenómeno.
- Se evitan los problemas de corrosión de los metales, lo cual reduce aún más los costes de mantenimiento.
- Capacidad para ser moldeados con grandes y complejas formas en ciclos cortos de tiempo, reduciendo así las partes necesarias y tiempos de ensamblaje.
- Tienen una elevada capacidad de optimización (ajustando y adaptando las direcciones y configuraciones del material).
- Posibilidad de conseguir una baja **RCS** (Sección Equivalente de Radar, o *Radar cross-section*, una medida de cuán detectable es un objeto mediante radar)

Sin embargo, se encuentran las siguientes desventajas o inconvenientes con respecto de los materiales convencionales:

- La estructura laminada implica que tenga una peor resistencia con cargas fuera del plano óptimo de trabajo.
- Pueden ser vulnerables al impacto, y existe una alta posibilidad de desarrollar daños internos inadvertidos.
- Absorción de la humedad que implica una degradación del rendimiento ante altas temperaturas.
- Se multiplican las probabilidades de defectos de fabricación y de variaciones en las propiedades del material.
- El coste del material es en gran medida mayor que los metales.

En definitiva, el principal motivo por el cual usar materiales compuestos en aeronaves es la reducción de peso. De hecho, un informe del *Programa de Investigación de Materiales Avanzados* llevado a cabo por la **Administración**

Federal de Aviación (FAA), afirma que por cada libra (aproximadamente 0,45 Kg) de peso ahorrado en un avión, se llegan a ahorrar entre 100 y 300 dólares a lo largo de la vida en servicio del mismo [27].

3.1.4 Procesos de fabricación de los FRP en el sector aeronáutico

Durante las últimas décadas, se han desarrollado diversos métodos de fabricación de polímeros reforzados con fibras, y todos ellos son utilizados en la industria en mayor o menor medida, aunque son procesos muy diferentes entre sí.

A día de hoy, el método más utilizado sigue siendo el “*Moldeo Manual*” (*Hand layup*), que consiste en que un operario va apilando manualmente capas de tejido previamente entrelazado, a la vez que aplica capas de resina en estado líquido-viscoso. Dependiendo del uso de la pieza, las dimensiones y el tipo de resina, puede ser o no necesario el uso de una autoclave [3].

Sin embargo, debido a que resulta ser un proceso lento y demasiado dependiente de la experiencia del operario, tecnologías de laminado automatizado como la “*Colocación Automatizada de Fibras*” (*Automated Fiber Placement*) están siendo adoptadas por los fabricantes para elaborar diferentes elementos de las estructuras aeronáuticas [28]. Este concepto de fabricación se detallará en el apartado 3.1.4.1, ya que es la técnica que concierne a la fabricación de los paneles del presente proyecto.

Sin embargo, la cantidad de procesos distintos para fabricar materiales compuestos es extensa, y en la industria se utilizan dependiendo de las aplicaciones del producto a elaborar. Por mencionar algunos de los métodos: “*Enrollado de Filamentos*” (*Filament Winding*), el “*Moldeo por Transferencia de Resina*” (*RTM*), la “*Pultrusión*”, o el “*Moldeo por spray*” [15; 29; 30].

3.1.4.1 Laminado automatizado

Esta técnica se conoce en inglés como *Automated Fiber Placement (AFP)*, y se basa en la colocación de finas capas de material compuesto mediante cintas o hilos, que han sido previamente impregnadas, dispuestas por un brazo robótico de precisión y automatizado [28].

Las ventajas de este sistema con respecto al “Moldeo Manual” son la reducción de los tiempos de procesamiento, así como la reducción de costes de trabajo y de material utilizado. También, es un proceso que logra una mejor consolidación entre partículas y una mejora parcial de la uniformidad [3].

Por ejemplo, en *Mitsubishi Heavy Industries*, se basan de este método para fabricar todo el cajón de ala que monta el *Boeing 787*, utilizando capas de material preimpregnado de polímero termoestable (generalmente resina epoxi) reforzado con fibra. Una vez que este conjunto es colocado con la forma deseada, se introduce en una autoclave de desmesuradas dimensiones para su curado [31].

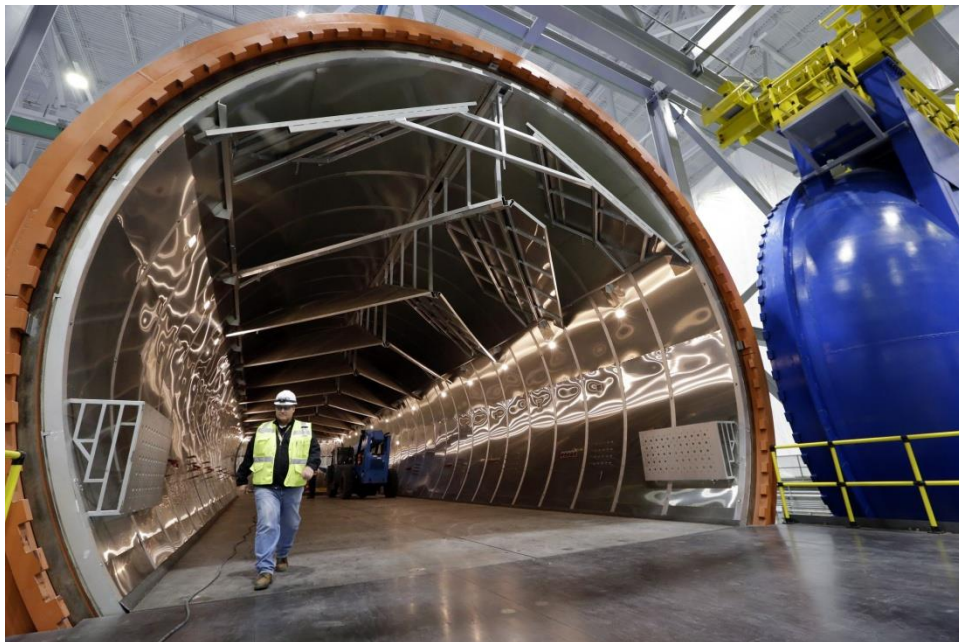
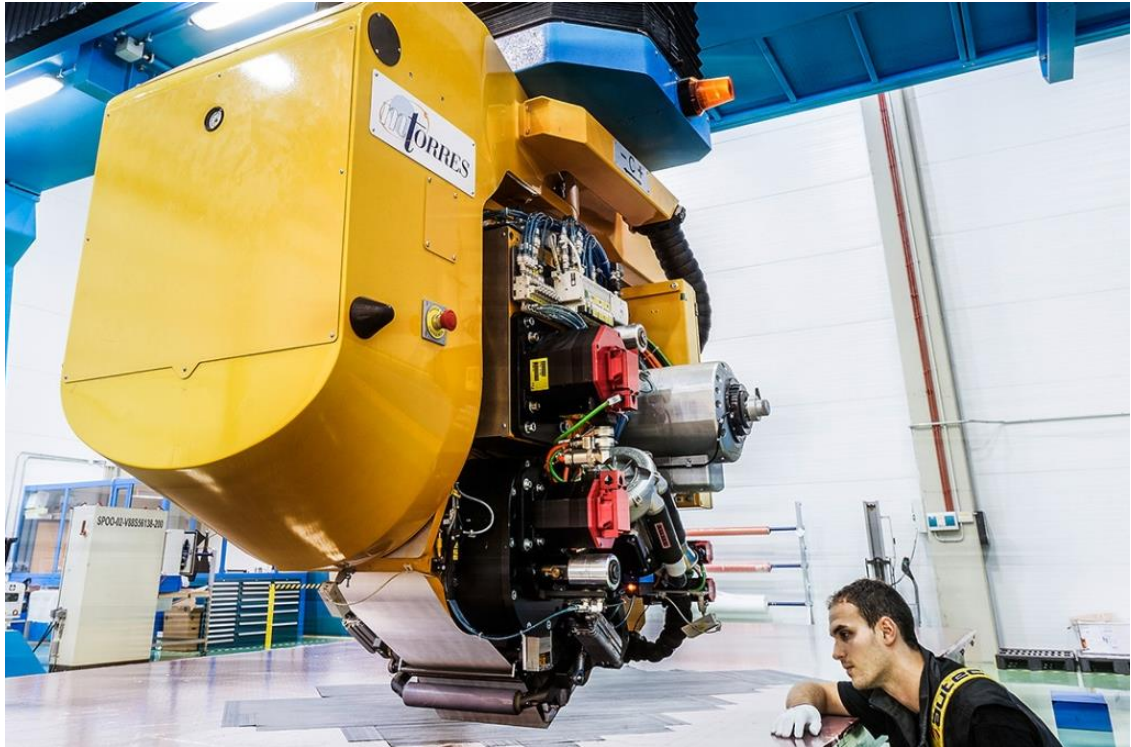


Ilustración III-6. Autoclave gigante en una de las plantas de fabricación de Boeing (Frederickson, Washington) [boeingimages.com].

Cuando el material preimpregnado se presenta en forma de cintas, se habla de “Encintado automático”, en inglés *Automated Tape Laying (ATL)*.

Como ya se explicó en el Capítulo 1, sobre el utillaje de este proyecto se laminarán capas de fibra de carbono y PEEK por medio de esta técnica, pero consiguiendo una curación del material en el momento por medio de un diodo láser. Esta tecnología es desarrollada por el Grupo MTorres en conjunción con FIDAMC [3; 32].



*Ilustración III-7. Máquina de encintado automático desarrollada por MTorres (ATL)
[Instalaciones de FIDAMC].*

Sin embargo, la consolidación por láser no es el único método basado en electrotecnologías de alta frecuencia en desarrollo para evitar el uso de autoclaves, y las tecnologías que le hacen competencia son: el “Procesamiento mediante haz de electrones”, el “Tratamiento electrónico por infrarrojos” o el “Curado por Ultravioleta” [33; 34]

3.2 Calefacción

3.2.1 Estudio del método de calefacción

Como se ha explicado en el primer capítulo, la mesa deberá ser capaz mantener una temperatura de trabajo de 250°C. Los métodos de calefacción más comunes son la caldera de gas, la bomba de calor o la calefacción eléctrica por medio de resistencias.

Por un lado, dado el alcance del proyecto, no se considera utilizar un sistema de calefacción por gas ya que se necesita una caldera externa que encarecería el coste del proyecto y su mantenimiento. Por el mismo motivo, se descarta el uso de la bomba de calor, cuyo principio se basa en el funcionamiento del ciclo de generación reversible, mediante el uso de un compresor. El compresor requiere de mantenimiento y además agrandaría las dimensiones de la mesa considerablemente.

Por lo tanto, se plantea la opción de usar resistencias eléctricas, que, si bien la energía requerida para su funcionamiento podría ser mayor que con las otras alternativas, se pueden colocar de forma compacta y además el mantenimiento requerido no es un inconveniente.

3.2.2 Resistencias eléctricas

Como alternativa a las clásicas resistencias eléctricas estándar, en una primera instancia se propone utilizar una solución innovadora de la mano de la empresa japonesa *Okazaki*, especializada en componentes para sistemas que funcionan con una alta temperatura de trabajo.

Esta compañía ofrece productos como el denominado *Aeroheat*, que se muestra en la Ilustración III-8. Consiste en un producto manufacturado desde un único cable, sin uniones, y con revestimiento metálico, que asegura

uniformidad de temperatura en toda la sección que abarca, además de estabilidad térmica en función del tiempo [35].

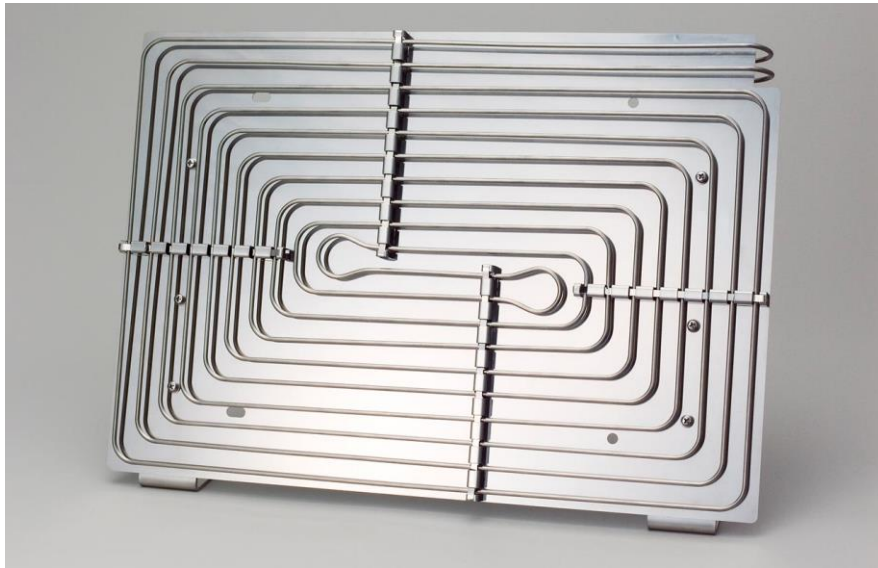


Ilustración III-8. Aeroheat. Producto del catálogo de Okazaki [okazaki-mfg.co.uk].

Sin embargo, en reuniones con la compañía cliente se concluye que es más óptimo utilizar un sistema de resistencias eléctricas convencional, ya que ellos aseguran por su experiencia que en proyectos anteriores este sistema ha funcionado de forma correcta.

Este sistema de resistencias no será diseñado por Sertec, y es un proyecto que se relega a una empresa subcontratista, quien se encargará de la instalación de las resistencias, así como del sistema de control de temperaturas y del puesto de mando.

Sin embargo, en el diseño en Catia sí representarán las resistencias tubulares a modo de orientación, colocadas a lo largo de la mesa, entre la bandeja y la placa (ver apartado 4.2.1.2). Se utilizarán resistencias con tratamiento de recocido, para facilitar su curvado en frío por el usuario para adaptarlos a las necesidades y geometría de la instalación.

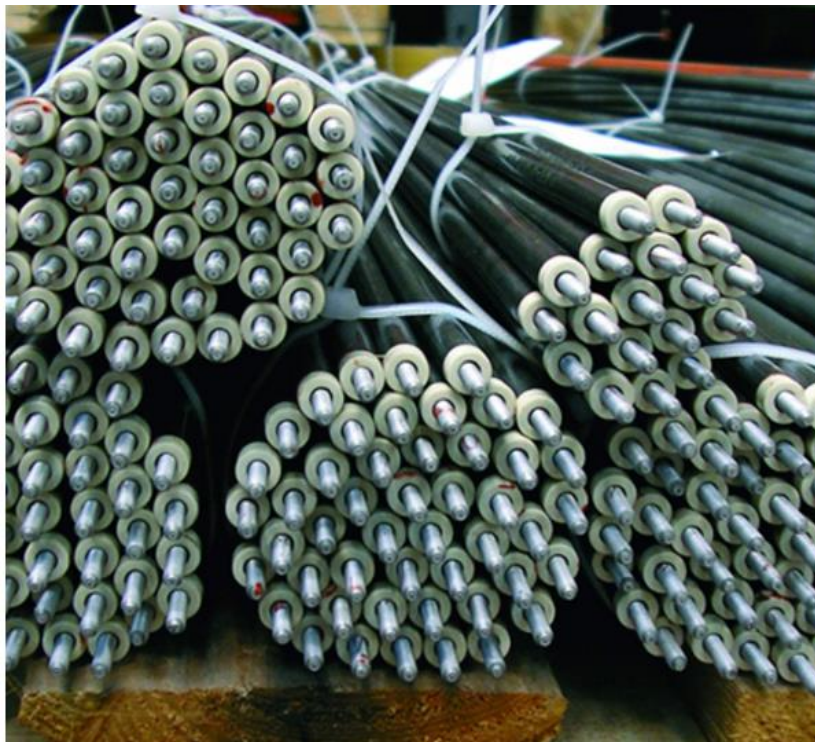


Ilustración III-9. Resistencias eléctricas tubulares [iessoler.com]

3.3 Materiales aislantes

Dado que el utillaje estará sometido a altas temperaturas, es importante diseñar un buen sistema de aislamiento térmico. Con esto se busca lo siguiente:

- Minimizar el calor transmitido desde el interior de la mesa a los elementos exteriores del utillaje en contacto con los usuarios.
- Evitar que los componentes del utillaje sean dañados o deformados por estar sometidos a altas temperaturas.
- Mantener la temperatura interior lo más uniforme posible para permitir un correcto curado del material.

Por lo tanto, se recubrirá la mesa con material aislante. Se utilizarán placas dispuestas tanto a los lados como por debajo de la bandeja. Habrá dos tipos de materiales aislantes, por un lado, la se utilizará vermiculita como recubrimiento interior, y por otro lado se usará lana de roca como recubrimiento exterior.

3.3.1 Recubrimiento interior (vermiculita)

Este recubrimiento interior aislante se colocará dentro de la cámara de vacío situada debajo de la placa de laminación. Esta cámara estará formada por la placa metálica y el elemento que lo sostiene, que será una bandeja metálica. En dicha bandeja se apoyará la placa, y la unión entre ambas deberá ser sellada (ver 3.6).

Este recubrimiento estará formado por placas de vermiculita, un mineral formado por silicatos de hierro-magnesio, con propiedades ignífugas y una gran capacidad de aislamiento térmico. Una de las aplicaciones más comunes de éste es recubrimiento en chimeneas o estufas [36].



Ilustración III-10. Placas de vermiculita [talleraleph.es]

La gran ventaja de este material es que se puede trabajar fácilmente utilizando herramientas convencionales. Puede ser perforado, atornillado y lijado sin mayor problema. Se encuentra en el mercado en forma de planchas que se pueden cortar y moldear fácilmente. Además, destaca por ser un material económico [37].

En las Ilustración III-11 e Ilustración III-12 se muestran imágenes de la bandeja con y sin el recubrimiento, representado en color azul claro.

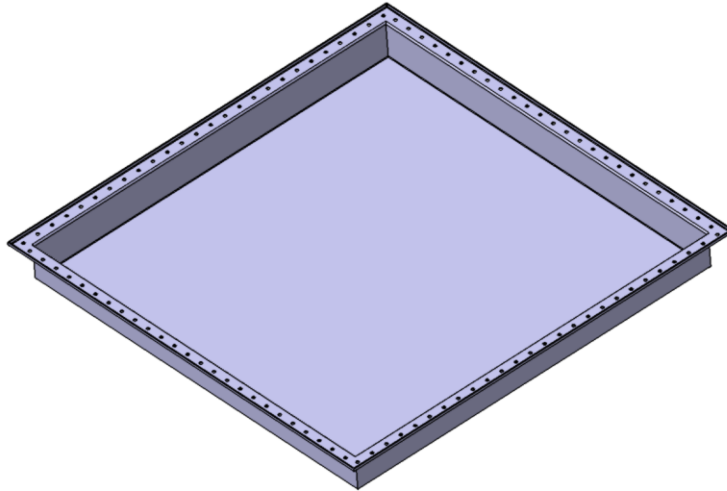


Ilustración III-11. Bandeja metálica sin recubrimiento [captura del diseño en Catia V5].

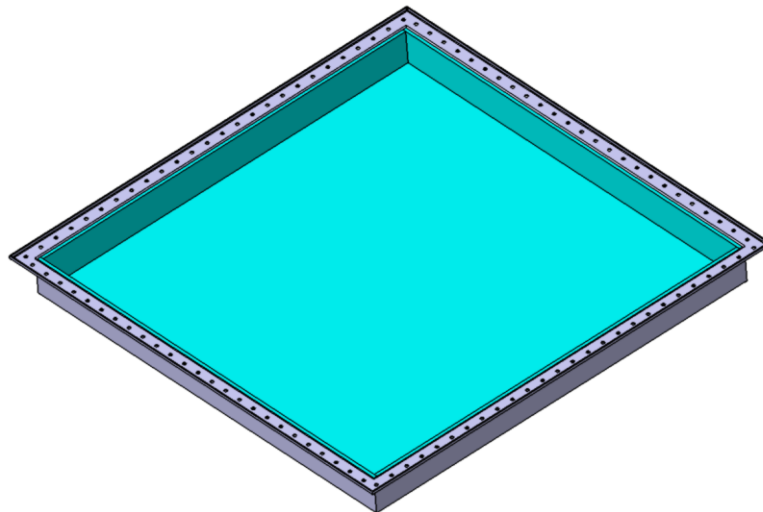


Ilustración III-12. Bandeja metálica con recubrimiento [captura del diseño en Catia V5].

3.3.2 Recubrimiento exterior (lana de roca)

Por otro lado, el exterior de la bandeja también será recubierto con aislante. En este caso no se utilizarán paneles de vermiculita, sino de lana de roca, que es más moldeable, económico y cumple con la función requerida.

Los paneles de lana de roca están compuestos principalmente de roca de origen volcánico (basalto, ofita y escoria). El proceso de fabricación consiste en fundir estos compuestos, aplicando aglomerantes y aceites impermeables hasta obtener un colchón que es comprimido y dimensionado, transformándolos en paneles, fieltros, mantas... [38; 39].



Ilustración III-13. Lana de roca procesada para su uso [rockwool.es].

La gran ventaja de este producto es la facilidad y rapidez en la instalación gracias a su maleabilidad, manteniendo un buen aislamiento térmico. Generalmente es usado en aplicaciones donde la resistencia al fuego es crítica, ya que es completamente ignífugo, aunque esta peculiaridad no es clave en este proyecto.

Además, todos los deshechos derivados de este proceso son reciclables. Esto, unido al hecho de que la roca volcánica utilizada es producida en los volcanes en mayor cantidad que la utilizada como materia prima para fabricar este material, supone que sea un proceso muy beneficioso para el medio ambiente. Por lo tanto, se puede considerar un material económico, fácil de utilizar y que contribuye positivamente al desarrollo sostenible del planeta [39; 40].

A continuación, se muestran imágenes de la idea conceptual de la colocación de estos paneles. Por un lado, paneles alargados recubrirán los laterales exteriores de la bandeja. Ilustración III-14.

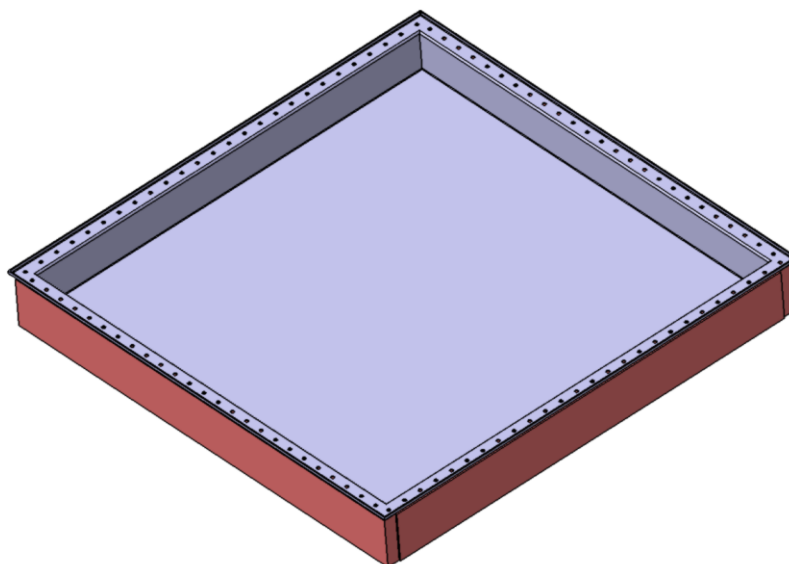


Ilustración III-14. Paneles de lana de roca laterales [captura del diseño en Catia V5].

Por otro lado, se colocarán paneles longitudinales inmediatamente debajo de la bandeja. Además. Se incluirán unas vigas soldadas para rigidizar la estructura, con un perfil en “C” para así sujetar los paneles al mismo tiempo.

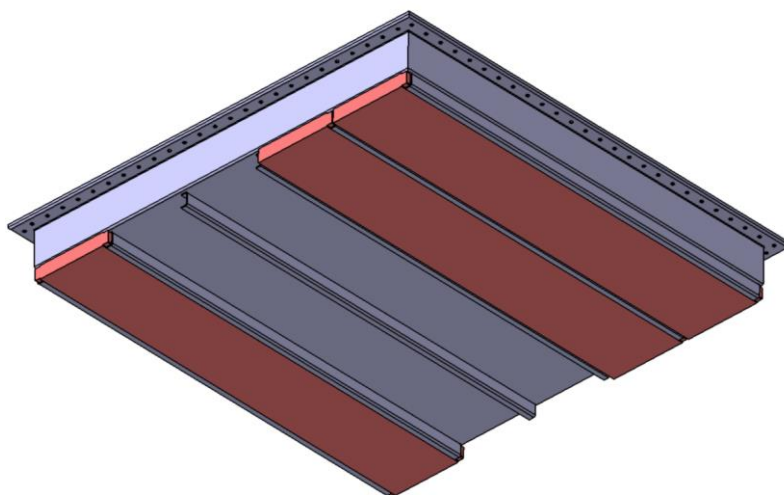


Ilustración III-15. Paneles de lana de roca inferiores [captura del diseño en Catia V5].

Posteriormente, se moldearán los paneles con los agujeros o cajeados pertinentes en aquellos lugares donde sea necesario, es decir, donde el panel interfiera con otros elementos del diseño de la mesa.

Además de los paneles representados en las imágenes, para la mejora del aislamiento térmico, se montará otro panel aislante que recubra toda la superficie inferior a estos últimos paneles mencionados, que estará embebido por dos placas metálicas apoyadas en las patas sobre las cuales se apoya la mesa.

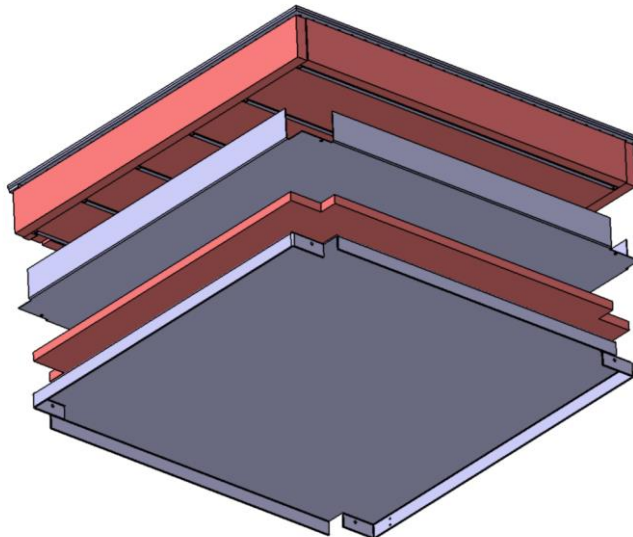


Ilustración III-16. Despiece del panel de lana de roca inferior embebido por dos placas metálicas [captura del diseño en Catia V5].

3.4 Puente térmico

El utillaje está diseñado para soportar temperaturas de 250°C de forma continuada, con picos puntuales de 450°C. Los aislantes mencionados en el apartado anterior ayudan a conservar el calor en la cámara interior de la mesa, sin embargo, no dejarán de existir pérdidas, y gran parte del calor se transmitirá al resto de la estructura metálica, y a su vez, a las tapas exteriores que formarán la carcasa.

Es decir, todo el utillaje formará un puente térmico debido a la conducción del metal, y aquellas partes en contacto con el usuario final, como son las tapas exteriores, pueden suponer un severo riesgo, ya que pueden ocasionar quemaduras. Para minimizar este daño, se colocarán unos elementos aislantes entre la estructura de la mesa y la carcasa, de modo que rompan este puente

térmico, y el calor transmitido a la carcasa sea el menor posible. Para ello, se utilizarán unos tubos de PTFE (Teflón), el cual es un material aislante que resiste bien las temperaturas y ha funcionado correctamente en proyectos anteriores.

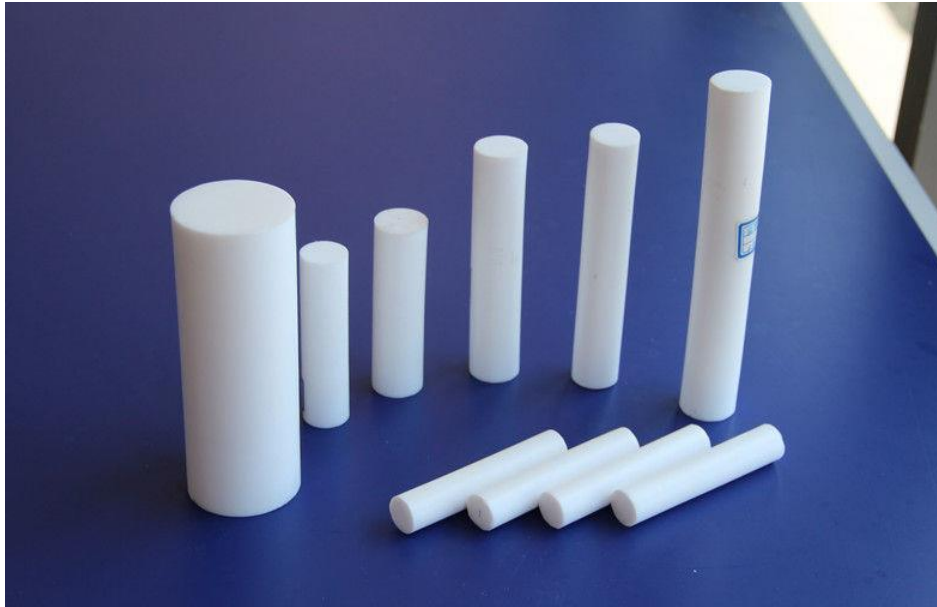


Ilustración III-17. Barras de Teflón comerciales [solucoesindustriais.com.br].

3.5 Junta

Como se ha descrito anteriormente, el utillaje a diseñar contendrá una placa superior de acero sobre la cual se laminará el material compuesto. Esta placa se atornilla a la bandeja de la mesa sobre la que se deposita, y la unión debe estar sellada para permitir mantener el vacío en el interior sin fugas.

Es por eso que se necesita usar una junta sellante. Esta junta será una lámina cortada con la forma necesaria, y se utilizará el material sellante conocido como *Klinger*.



Ilustración III-18. Ejemplo de juntas Klinger [arandelasyjuntas.com].

En el catálogo de juntas del proveedor se encuentran distintos tipos:

- KLINGER top-sil ML1

Este tipo de junta está formado por fibra de vidrio con elastómeros en multi capa, siendo el único material sellador con configuración de este tipo. Está diseñado para servicios de alta temperatura y se ofrece tanto en planchas como en juntas cortadas.

Un aspecto clave de este material es que posee gran resistencia al envejecimiento cuando es sometido a altas temperaturas. Esto es debido a que, al emplear capas con elastómeros especiales, la descomposición y los procesos de envejecimiento asociados a los materiales convencionales de la fibra se pueden evitar.

Además, estos elastómeros especiales se mantienen flexibles incluso a alta temperatura, y esto evita la creación de micro grietas. Por otro lado, también existen capas que contienen elastómeros estándar, y éstos resisten mejor la deformación bajo carga debido a la formación de una red más densa. De este modo se conserva la fuerza de la junta a pesar de mantener la flexibilidad [41].

En el gráfico presión/temperatura de la Ilustración III-20 se muestra el área más óptima de trabajo. Para este proyecto la presión a soportar es de 0 bar (vacío) a una temperatura de 250°C, con lo que esta solución es perfectamente válida.

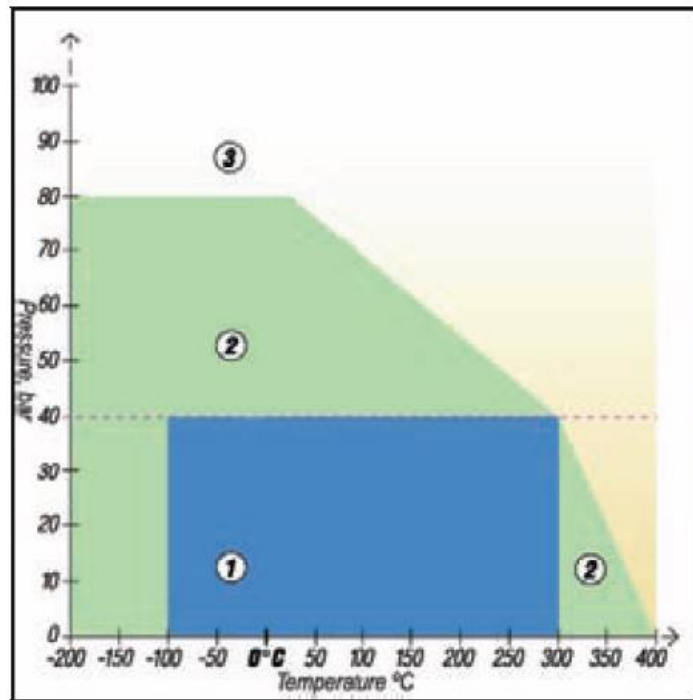


Ilustración III-19. Gráfico presión/temperatura [Juntas Bisma S.A].

- KLINGERsil

Este otro tipo de material contiene fibras libres de amianto mezcladas con compuestos elastómeros. Tienen un funcionamiento de sellado superior al anterior, óptimo para condiciones más exigentes. Es capaz de soportar presiones de hasta 100 bar [41].

Sin embargo, son menos económicas, y este proyecto no exige unas propiedades tan excelentes. Además, resiste peor la temperatura que la junta *KLINGER top-sil ML 1*.

- Top-Graph 2000

Este material es una plancha de grafito comprimido, reforzado con fibra libre de amianto. Tiene unas propiedades mecánicas muy buenas, siendo capaz de soportar mayores cargas que los materiales comprimidos de fibra sin amianto [41].

Además, es un material capaz de resistir muy elevadas temperaturas. Sin embargo, las prestaciones que ofrece de nuevo son muy superiores a las requeridas, y resulta más económico utilizar la primera opción.

- Resto de materiales

Por último, se encuentran otras juntas hechas de materiales como: **grafito reforzado con acero, Mica con inserto de acero inoxidable o PTFE** (Politetrafluoroetileno o Teflón) expandido o modificado.

Sin embargo, se concluye de la misma forma que con los anteriores: Las propiedades que ofrecen son específicas para aplicaciones más exigentes, pero para este proyecto es suficiente con utilizar la alternativa más económica.

3.6 Adhesivos

Como se ha explicado, entre la placa superior y la bandeja de la mesa se pondrá una junta sellante para minimizar fugas. Sin embargo, dado que la unión es atornillada, es necesario sellar el contorno de la junta, así como la superficie entre ésta y la bandeja, para evitar fugas debido a las irregularidades en el plegado de la bandeja.

En la Ilustración III-20, se muestra la idea conceptual de unión de placa superior (en amarillo) y bandeja metálica, con la junta sellante entre medias. Los tornillos se colocarán desde abajo, siendo roscados directamente a la placa, que deberá tener los agujeros debidamente roscados.

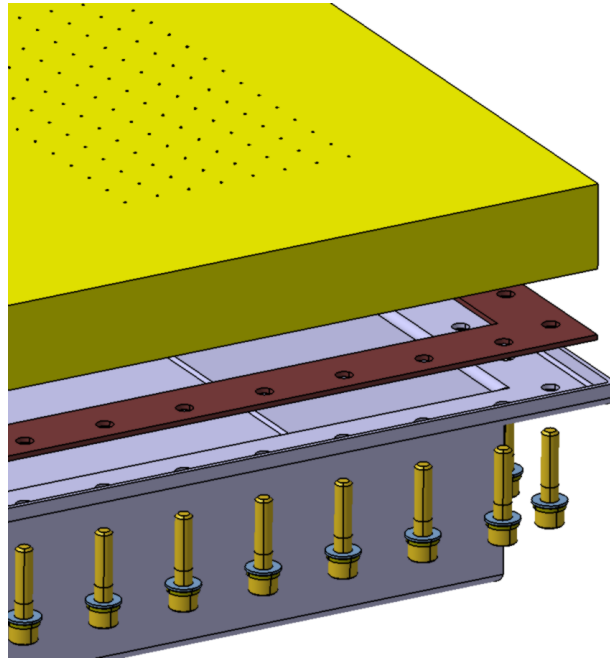


Ilustración III-20. Detalle del despiece del conjunto placa, junta, bandeja [captura del diseño en Catia V5].

Se diferencian dos zonas de aplicación de los adhesivos:

Por un lado, en la superficie de la bandeja donde se apoya la junta se aplicará una capa de adhesivo *Nural 30*. Dicha bandeja puede presentar irregularidades en la superficie, es decir, no será completamente plana, por lo tanto, es necesario utilizar un producto que selle la unión y regularice la superficie de la bandeja para evitar fugas. *Nural 30* es un sellador formado a base de masilla de adhesivo y silicatos diseñado para soportar temperaturas extremas. El adhesivo será aplicado sobre la superficie de la bandeja antes de posicionar la junta.

Por otro lado, entre el contorno exterior de la junta y la bandeja se usará el producto *Loctite SI 5399*. Este sellador se usa habitualmente en ingeniería de calefacción, como hornos industriales o electrodomésticos, y se aplicará una vez posicionada la junta en el espacio generado entre la placa y la bandeja, con el anterior adhesivo previamente aplicado.

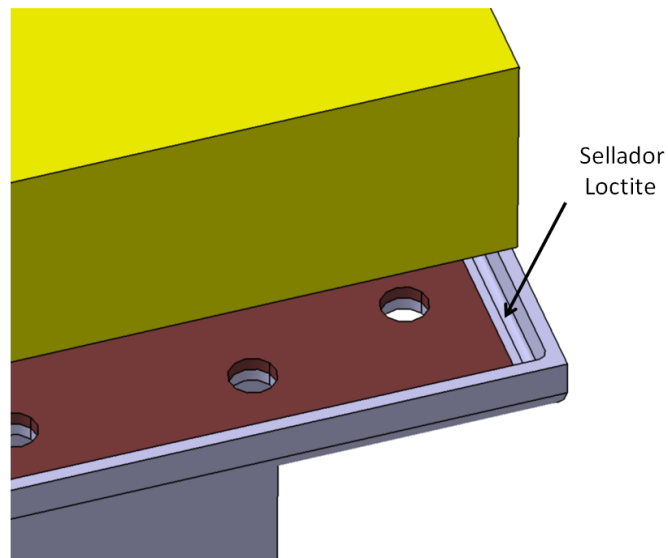


Ilustración III-21. Detalle de la aplicación del Loctite SI 5399 [captura del diseño en Catia V5].

3.7 Elementos comerciales

Por un lado, se utilizarán pies de máquina nivelados de acero inoxidable de la marca Halder, concretamente el modelo EH 22590. Estos niveladores están articulados para permitir situar el utillaje en cualquier plataforma.



Ilustración III-22. Niveladores Halder [halder.com].

En cuanto a las ruedas, se utilizarán cuatro *Ruedas Alex TV-TN 2-0020* (una reconocida marca y con experiencia en el sector), con capacidad para soportar 300 Kg cada una y resistentes a la oxidación.



Ilustración III-23. Rueda Alex TV-TN 2-0020 [alex.es].

Por otro lado, se utilizarán cuatro cáncamos de acero, que serán fijados a la placa de laminado, para permitir elevar el conjunto y facilitar el transporte.



Ilustración III-24. Cáncamo GN 586 [elesa-ganter.com]

Y, por último, para el conexionado rápido del sistema de vacío y la bomba externa, se utilizará un acoplamiento especial diseñado para líneas de vacío en altas temperaturas.

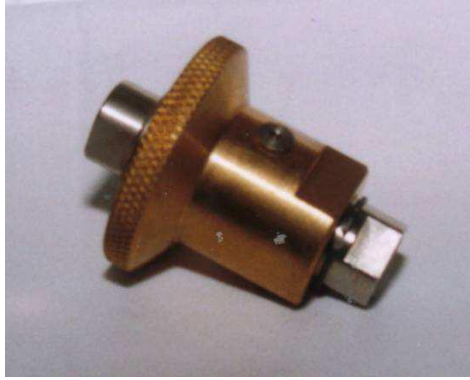


Ilustración III-25. Acoplamiento especial "ER-500" [inp96.es].

Las fichas técnicas o catálogos de todos los productos utilizados (resistencias, aislantes, comerciales...) se adjuntan en el Anexo B de este documento.

CAPÍTULO IV Diseño final del utillaje

4.1 Descripción general

Una vez se han recopilado las consideraciones y requisitos sobre el diseño del utillaje, se procede a diseñar el mismo en Catia V5. Este proceso consta de un largo periodo de trabajo realizando distintas versiones preliminares, modificaciones y diversos ajustes, debido a cambios solicitados por el cliente en diferentes reuniones, propuestas de los proveedores y otros factores

En este capítulo se explicará y describirá el diseño final del utillaje, el cual se muestra en la Ilustración IV-1.

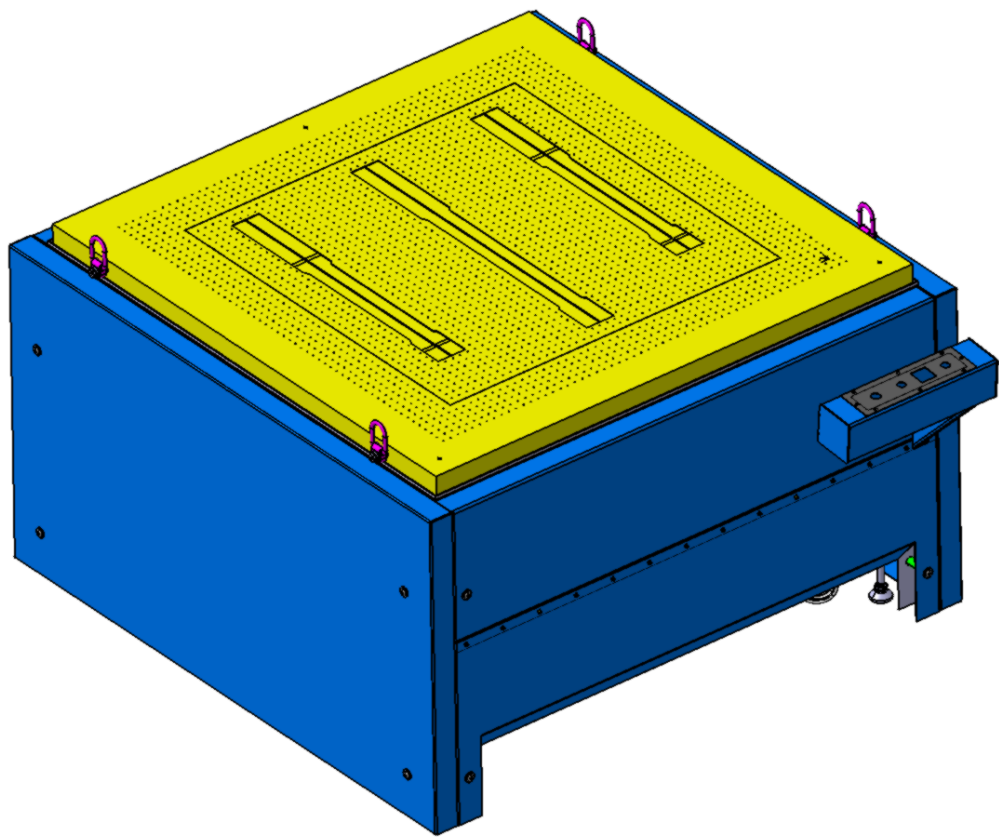
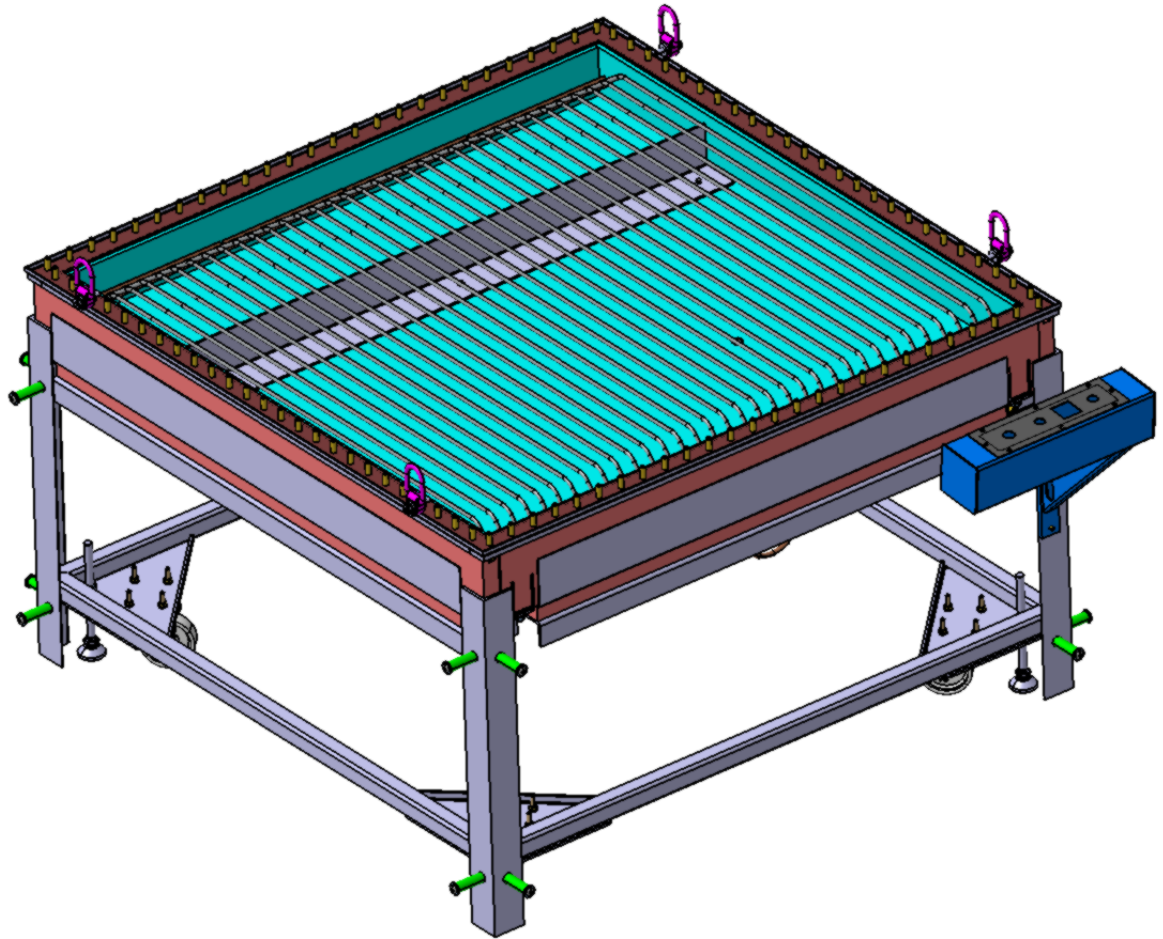


Ilustración IV-1. Diseño final del utillaje [captura del diseño en Catia V5].



*Ilustración IV-2. Diseño final del utillaje ocultando carcasas y placa de laminado
[captura del diseño en Catia V5].*

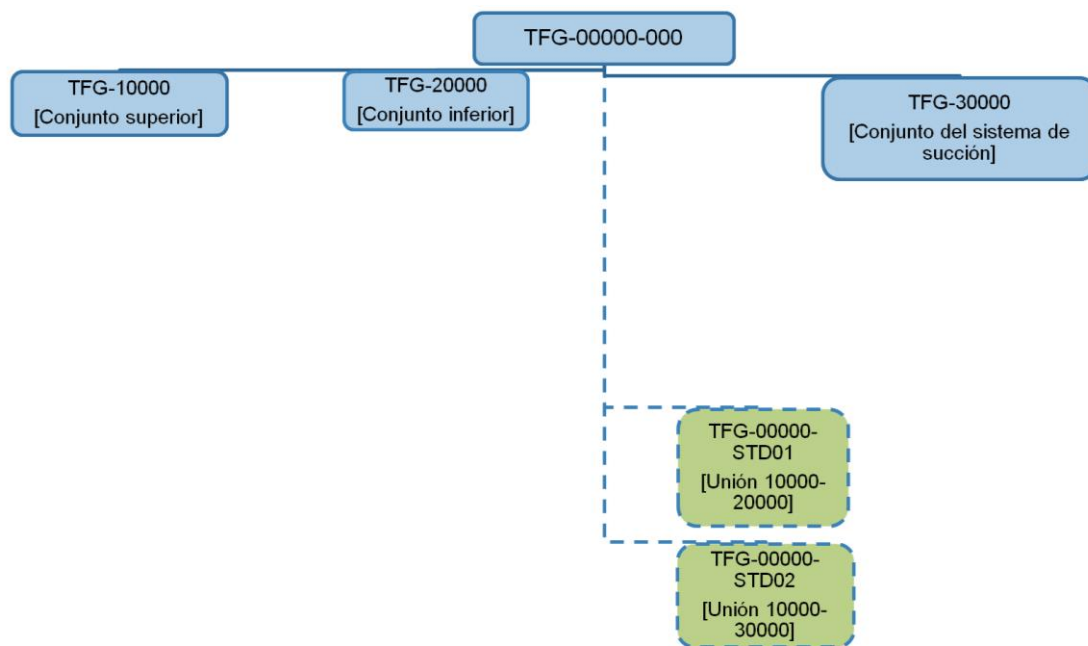
En los sucesivos apartados se profundizará en las partes de las que consta el utillaje, prestando especial atención a los detalles que se han considerado para el correcto funcionamiento del mismo.

En primer lugar, se describirá cómo está organizado el trabajo en Catia V55. El programa permite crear conjuntos (también llamados productos), que contienen las piezas o partes individuales. Estas partes se ensamblan entre sí formando conjuntos que guardan las referencias o posiciones entre ellas. El producto principal contiene todos los subproductos y partes formando una estructura en forma de árbol.

Para la codificación de piezas y la estructura del árbol se ha seguido el protocolo estándar que se lleva a cabo en Sertec, el cual consiste en lo siguiente:

El conjunto padre sigue la nomenclatura: "XXX-00000-000"; donde "XXX" son las siglas del proyecto. En este caso, para evitar referencias a la empresa cliente se renombra como "TFG-00000-000".

Siendo esto así, se ha dividido el diseño en 3 conjuntos principales: La parte superior, la parte inferior y el sistema de succión. Además, cabe destacar que los subconjuntos que agrupan la tornillería o las piezas comerciales (como pies de máquina y ruedas) se agrupan en los denominados "nodos de componentes", y se renombran con el sufijo "STD". Con esto, el esquema principal quedaría de la siguiente forma:



Donde los cuadros verdes representan los nodos de componentes. Del producto principal, colgarían dos de ellos: Uno agrupa la tornillería que une el conjunto superior con el inferior, y el otro agrupa la del conjunto superior con el sistema de succión.

Por lo tanto, del conjunto padre cuelgan tres subconjuntos y dos nodos de componentes, los cuales se describirán de forma independiente en los siguientes apartados

4.2 Conjunto superior ("TFG-10000")

Este conjunto forma todo el bloque superior que se apoya sobre la estructura soporte de la mesa. Dentro del mismo, a su vez, se van a diferenciar dos subconjuntos: Por un lado, el conjunto de la cámara de vacío, y, por otro lado, el conjunto de los paneles aislantes de vermiculita y lana de roca.

Además, existe una chapa inferior independiente que hace de carcasa exterior para ayudar al posicionamiento de los paneles de lana de roca, pero que no forma parte de ninguno de estos dos subconjuntos.

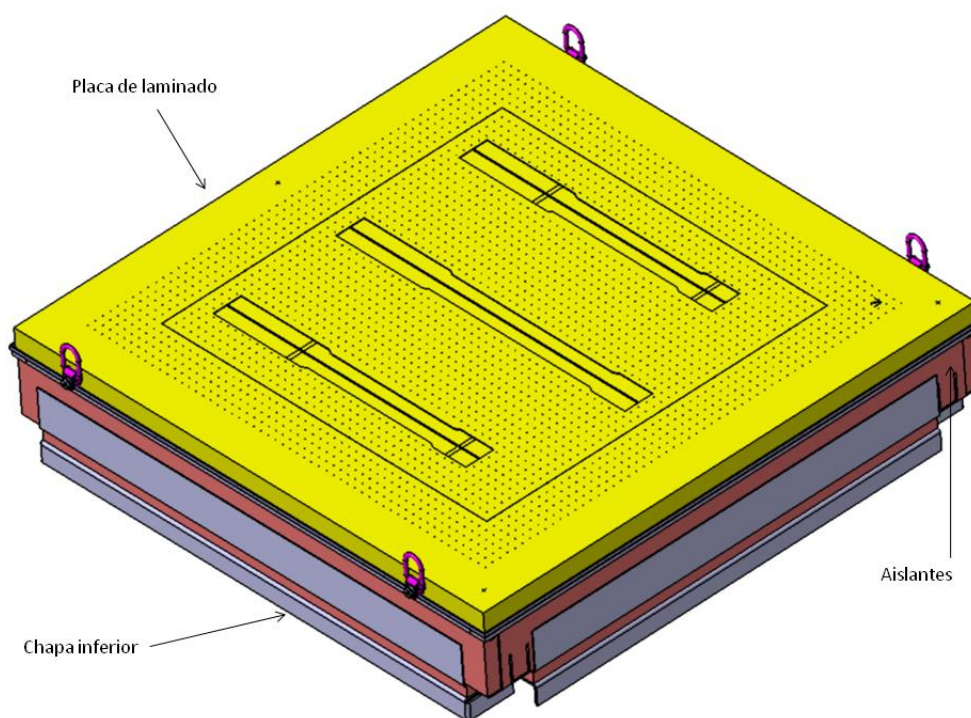
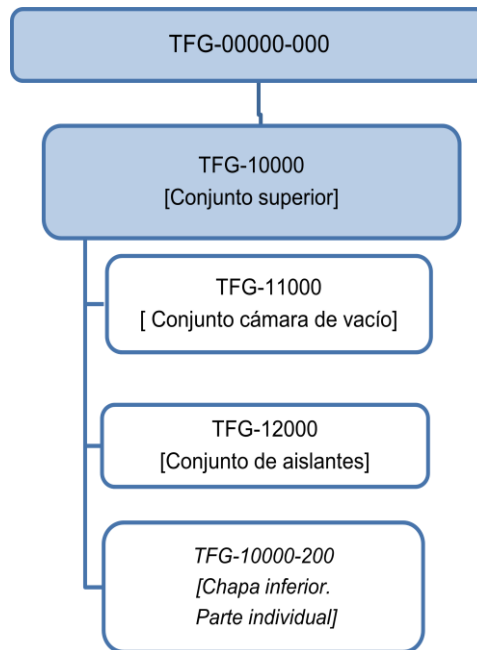


Ilustración IV-3. Conjunto superior "TFG-10000" [captura del diseño en Catia V5].

El esquema conceptual de este conjunto queda de la siguiente forma:



4.2.1 Conjunto cámara de vacío ("TFG-11000")

Este subconjunto engloba lo siguiente:

- La bandeja metálica y los elementos soldados a ella como herrajes o vigas. Agrupado como subconjunto "TFG-11100".
- Todo el sistema de calefacción, es decir, el bloque de resistencias eléctricas en el interior de la cámara de vacío, las pletinas y la tornillería de unión entre ellas. Agrupado como subconjunto "TFG-11200".
- Otras piezas individuales que no forman parte de ningún subconjunto. Por ejemplo, la placa de laminado (amarilla), los cáncamos atornillados a la misma, la junta intermedia u otras chapas metálicas.

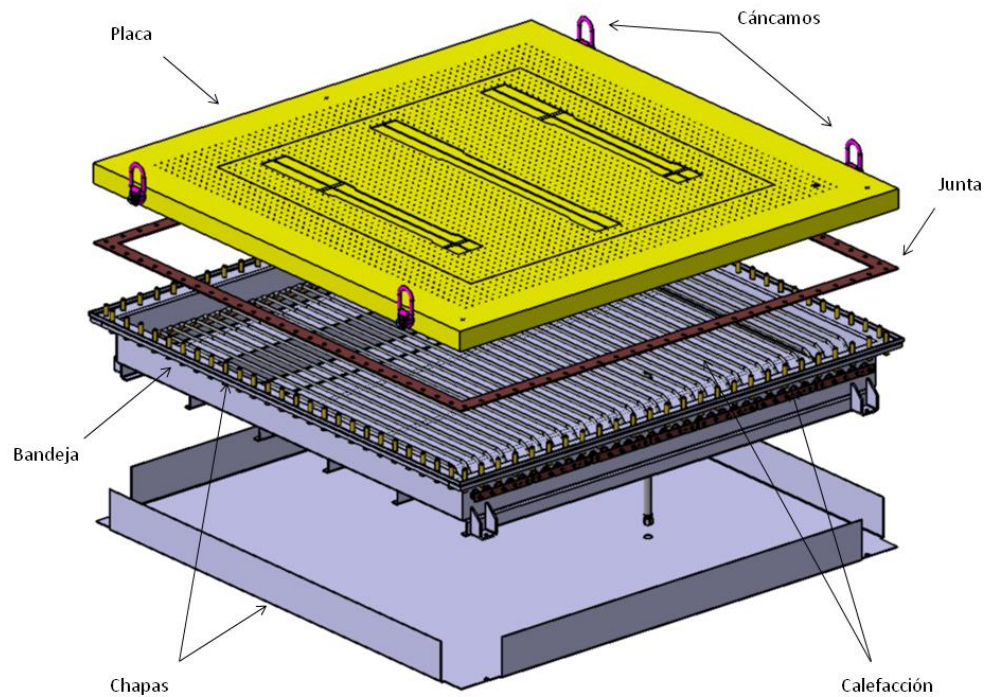
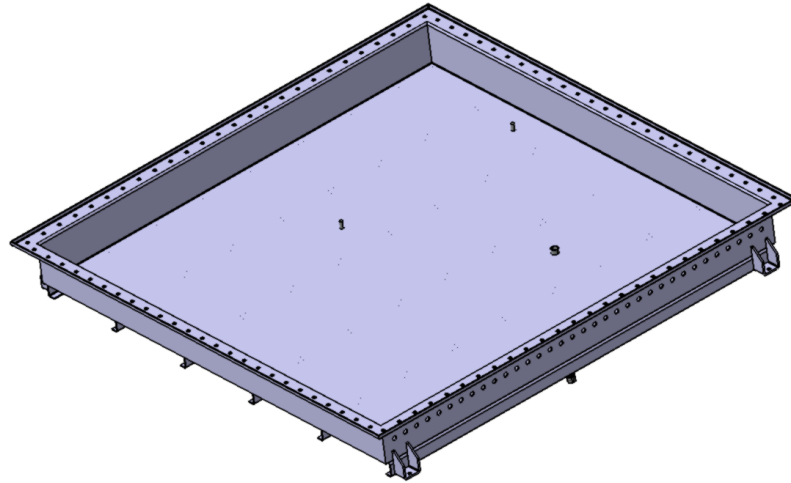


Ilustración IV-4. Despiece de conjunto cámara de vacío “TFG-11000” [captura del diseño en Catia V5].

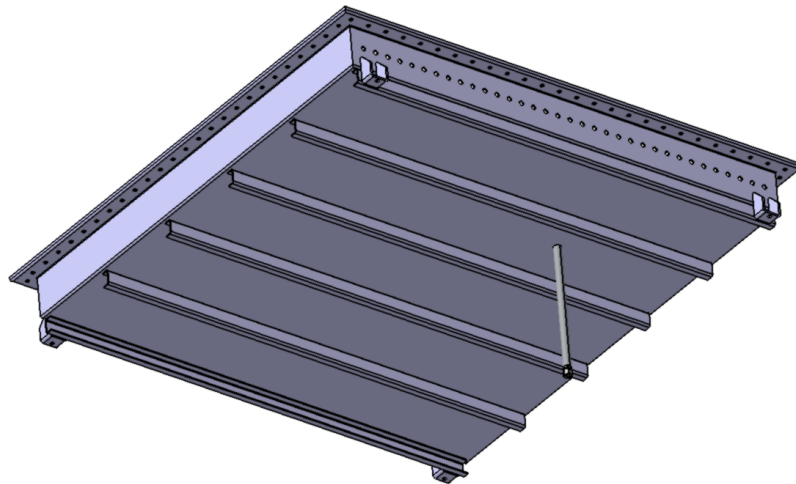
4.2.1.1 Conjunto soldado (“TFG-11100”)

La bandeja está formada por una chapa plegada y soldada a otros elementos: las vigas con perfil en “C” en su parte inferior, los herrajes en las esquinas, el tubo que conecta la cámara de vacío con el resto del sistema de succión y las fijas en la parte superior que servirán de anclaje al soporte de las resistencias.

Además, se deberán tener en cuenta los agujeros necesarios para conectar mediante cableado las resistencias eléctricas, que estarán dentro de la cámara de vacío, a los elementos electrónicos de control en el exterior, situados en la cara principal donde se coloca el puesto de mando.



*Ilustración IV-5. Conjunto de la bandeja soldada a los elementos “TFG-11100”
[captura del diseño en Catia V5].*



*Ilustración IV-6. Vista inferior del conjunto “TFG-11100” [captura del diseño en Catia
V5].*



Ilustración IV-7. Detalle de las fijas y el tubo de succión. Ambos soldados a la bandeja [captura del diseño en Catia V5].

En el extremo inferior del tubo de succión, se coloca soldado un conector del modelo "SMC 10M 4N", donde se conectará el resto del sistema de vacío.

4.2.1.2 Conjunto de sistema de calefacción ("TFG-11200")

Por otro lado, el conjunto "TFG-11200" agrupa todo el sistema de calefacción, incluyendo las resistencias eléctricas con las pletinas que las sujetan entre sí, así como la tornillería para su unión y las juntas en forma de arandela plana para los agujeros de la bandeja. Estas juntas se colocan para evitar toda fuga causada por los agujeros para las resistencias en la bandeja, y son del mismo material que la junta de la placa superior (apartado 3.5).

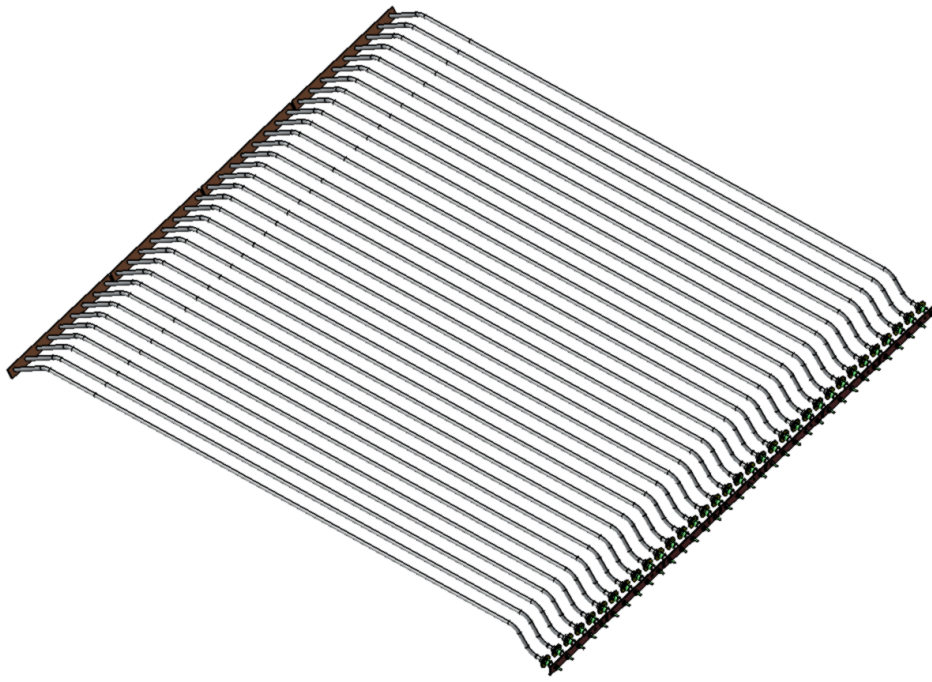


Ilustración IV-8. Conjunto de calefacción “TFG-11200-000” [captura del diseño en Catia V5].

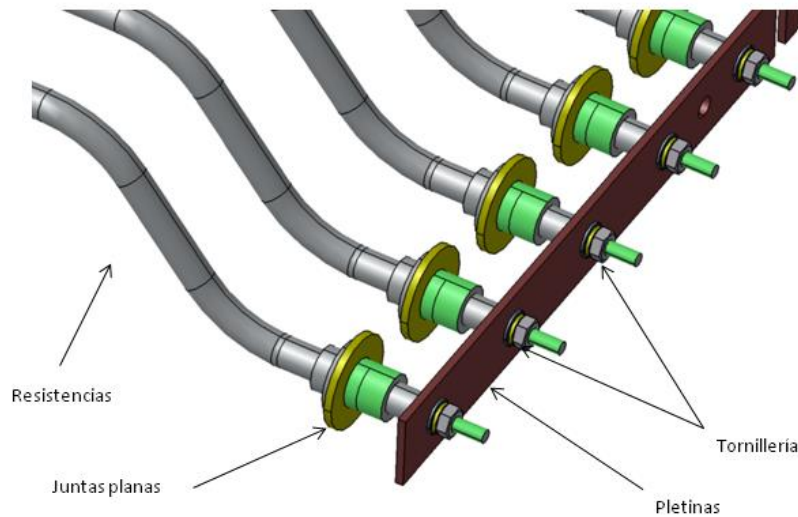


Ilustración IV-9. Detalle de las pletinas, las juntas planas y la tornillería [captura del diseño en Catia V5].

Entre la junta plana y las pletinas estarán la bandeja y las tuercas que la unen a las resistencias.

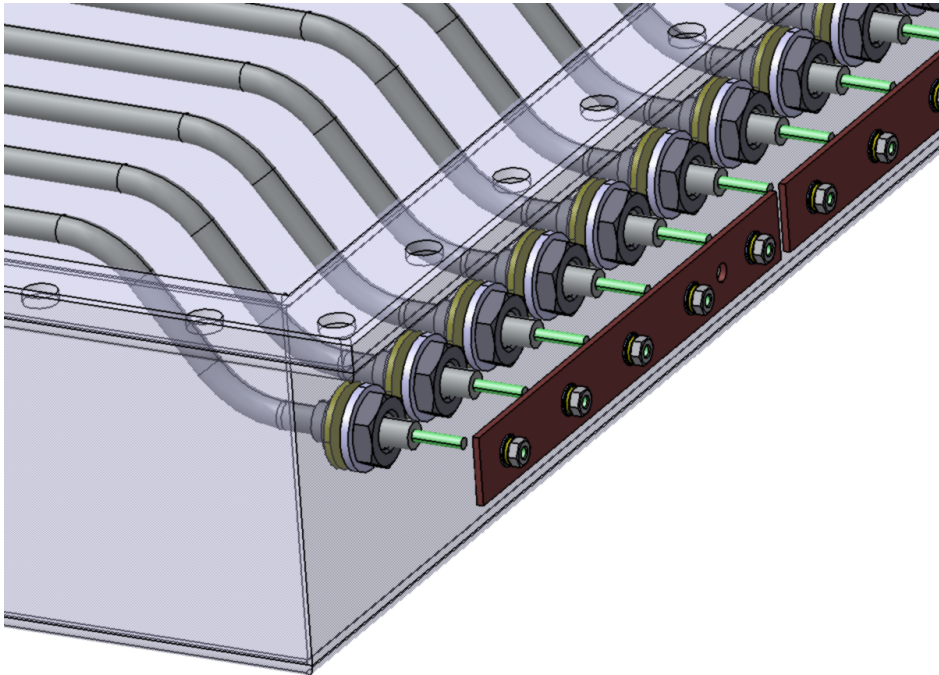


Ilustración IV-10. Bandeja representada transparente y pletinas despiezadas para detallar la unión [captura del diseño en Catia V5].

4.2.1.3 Placa de laminado y otros

Además, como ya se ha explicado, la cámara de vacío también cuenta con otros elementos que no están agrupados en ningún subconjunto.

Uno de ellos es placa de laminado (en amarillo), que contiene los cajeados requeridos para la colocación de los largueros, así como el taladrado a su alrededor para la succión del laminado mientras se realiza el mismo, de forma que evite su desplazamiento accidental.

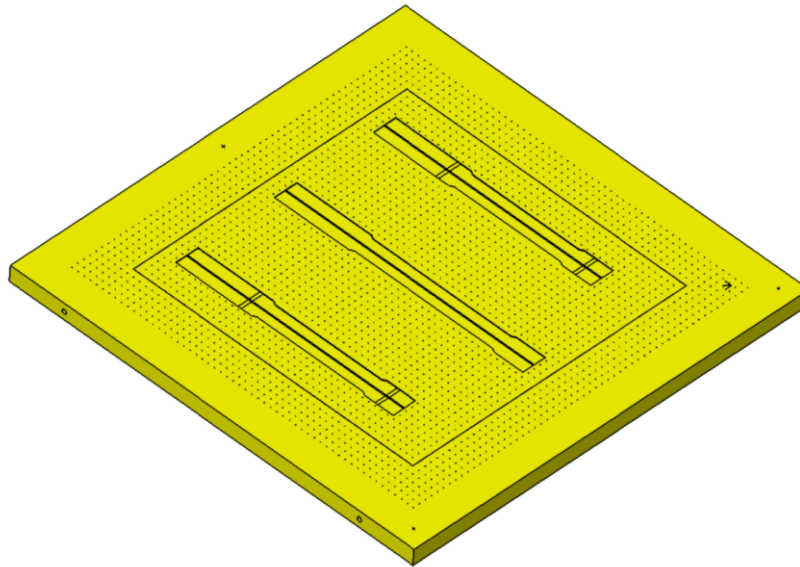


Ilustración IV-11. Placa de laminado con los cajeados, las perforaciones, los grabados para las referencias, y las perforaciones para los cáncamos [captura del diseño en Catia V5].

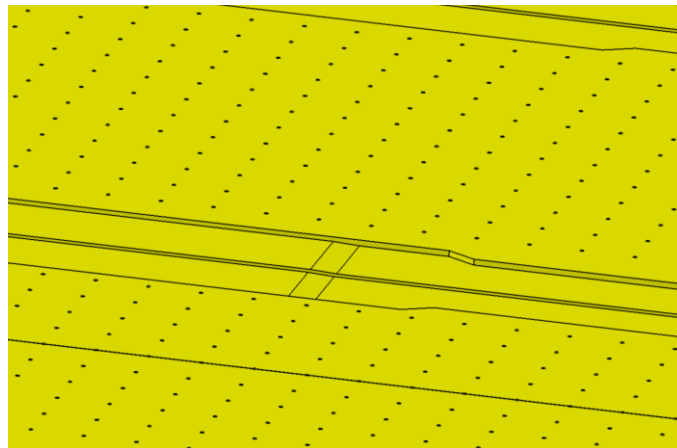


Ilustración IV-12. Detalle de los cajeados con los estajes necesarios para la colocación de los largueros [captura del diseño en Catia V5].

La placa se apoya sobre la junta, que a su vez se apoya en la bandeja, y para su fijación se atornillan entre sí mediante los 77 (setenta y siete) tornillos y arandelas que se colocan en los agujeros distribuidos en el contorno de la placa.

Los otros elementos son las chapas señaladas en Ilustración IV-4, así como el soporte sobre el que se apoyan las resistencias, que está unido a la

bandeja por medio de las fijas de la Ilustración IV-7. Estas fijas se utilizan a modo de guía, quedando soldadas tanto a la bandeja en su parte inferior como al soporte en su parte superior.

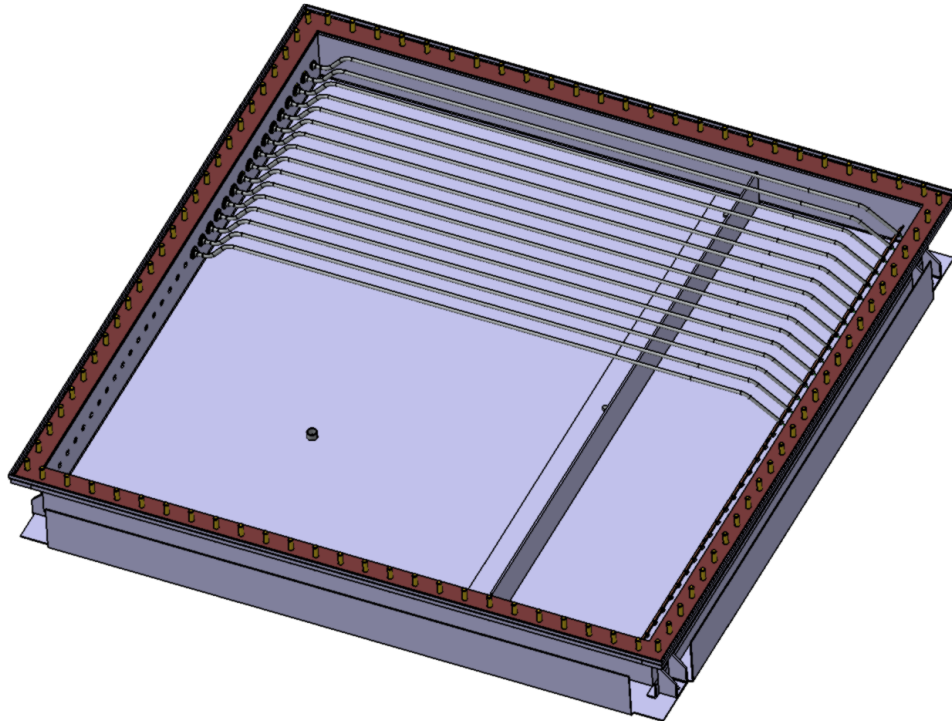


Ilustración IV-13. Detalle de la colocación de las resistencias y el soporte sobre el que se apoyan [captura del diseño en Catia V5].

4.2.2 Conjunto de aislantes ("TFG-12000")

Aquí se agrupan todos los paneles de material aislante, colocados como ya se ha explicado en el apartado 3.3. Para el diseño, se tendrán en cuenta todos los agujeros o cajeados pertinentes en aquellos lugares donde el material interfiera con otros elementos, como el tubo de succión, las resistencias eléctricas, chapas y herrajes.

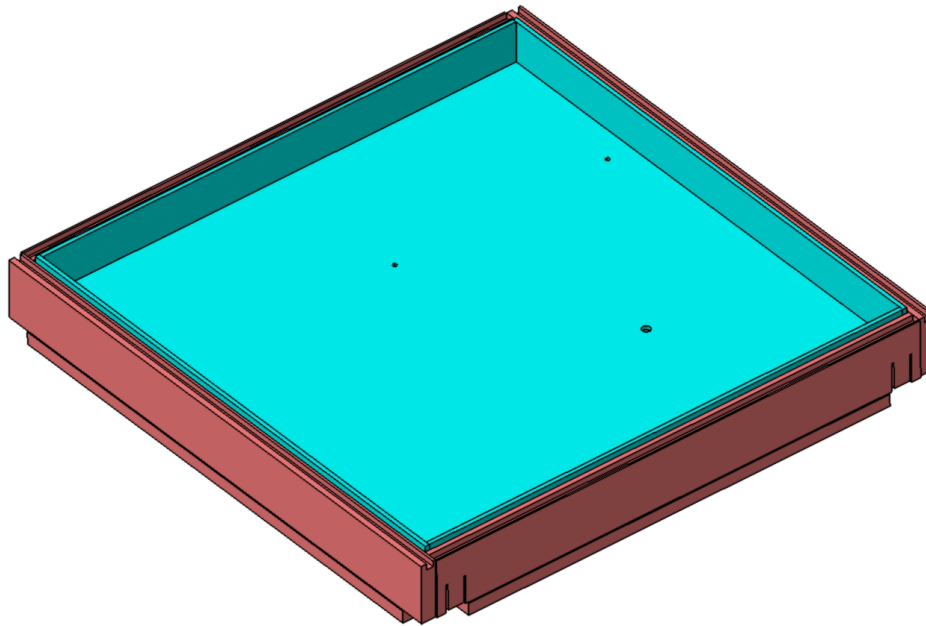


Ilustración IV-14. Conjunto de paneles aislantes "TFG-12000" [captura del diseño en Catia V5].

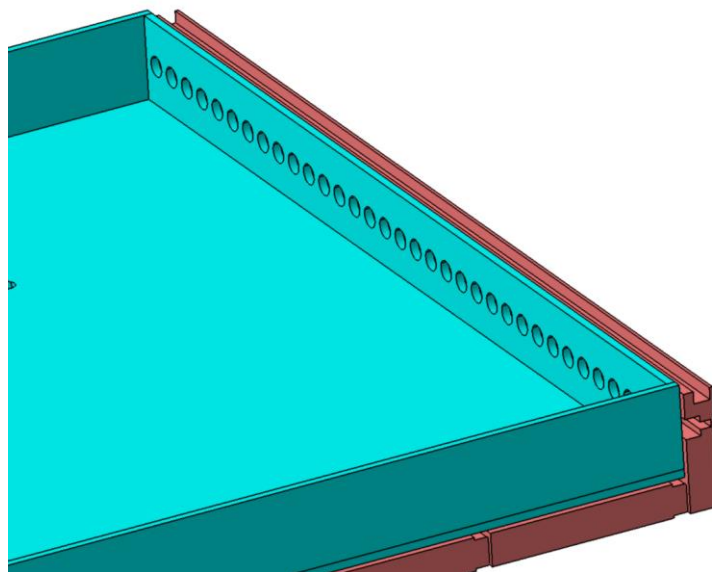


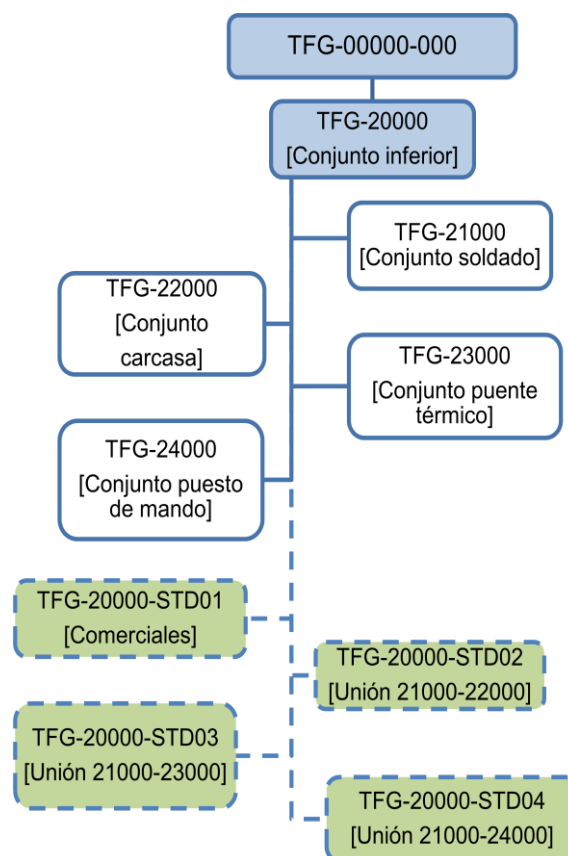
Ilustración IV-15. Detalle de agujeros y cajeados [captura del diseño en Catia V5].

Sin embargo, en el caso de los paneles de lana de roca, al ser materiales esponjosos, moldeables y fáciles de cortar, los cajeados se representan solamente a modo orientativo y el corte de los mismos se realizará acorde al sistema una vez fabricado.

En definitiva, el conjunto superior quedaría definido (ver más atrás Ilustración IV-3) y preparado para ser apoyado sobre el conjunto inferior “TFG-20000”, por medio de las cuatro esquinas donde se han colocado los herrajes que transmiten la carga a las patas de la estructura soporte, al ser los puntos de fijación de ambos conjuntos.

4.3 Conjunto inferior ("TFG-20000")

Se ha llamado *Conjunto inferior* a toda la estructura sobre la que se apoya el *Conjunto superior*, junto con la carcasa, los elementos que hacen de puente térmico y el puesto de mando. Este conjunto se organiza de la siguiente manera:



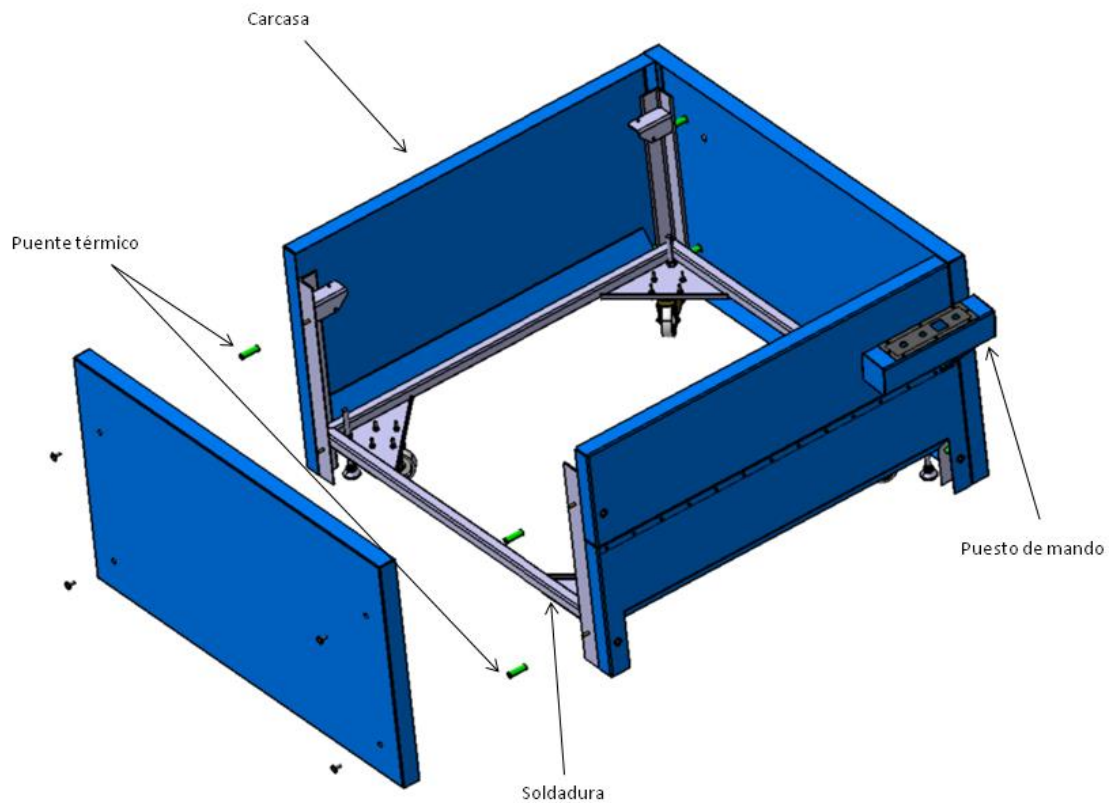


Ilustración IV-16. Conjunto inferior con despiece de una de las tapas [captura del diseño en Catia V5].

4.3.1 Conjunto soldado ("TFG-21000")

Este subconjunto agrupa los elementos que forman la estructura y van soldados entre sí, todos ellos son chapas y perfiles de aluminio comerciales.

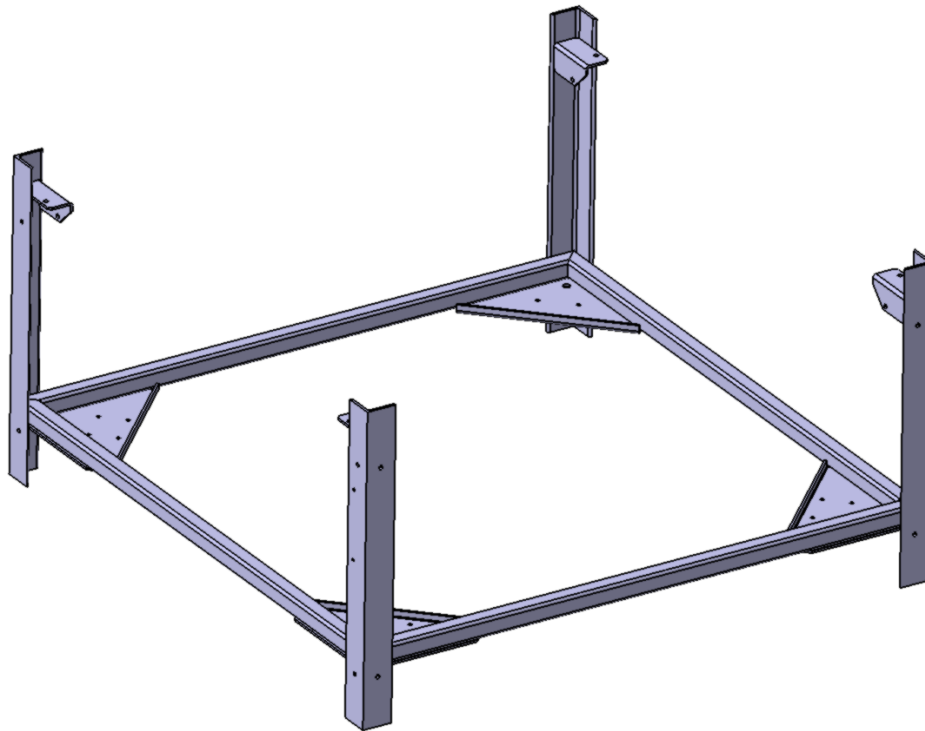


Ilustración IV-17. Soldadura ("TFG-21000"). Forma la estructura sobre la que se apoya el Conjunto superior [captura del diseño en Catia V5].

4.3.2 Conjunto carcasa ("TFG-22000")

Son las cuatro chapas azules que hacen de tapas exteriores y protegen al usuario de posibles quemaduras u otros peligros. La tapa frontal está dividida en dos chapas, atornilladas entre sí, con el objeto de permitir retirar una de ellas de forma sencilla y acceder al interior de la mesa.

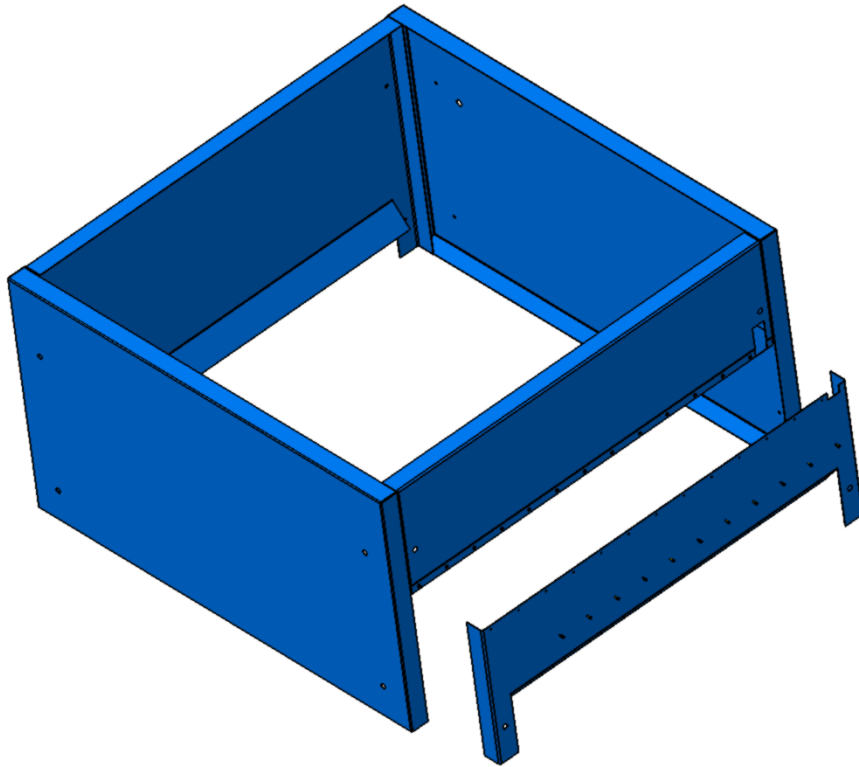


Ilustración IV-18. Tapas exteriores ("TFG-22000") con despiece de una de las chapas [captura del diseño en Catia V5].

4.3.3 Conjunto puente térmico ("TFG-23000")

Como se ha explicado en el apartado 3.4, se colocarán cuatro elementos de material aislante en cada lateral, concretamente, en la unión de las tapas exteriores a las patas. Estos elementos están huecos en su interior, de modo que por dentro se coloca la tornillería que los sujetan.

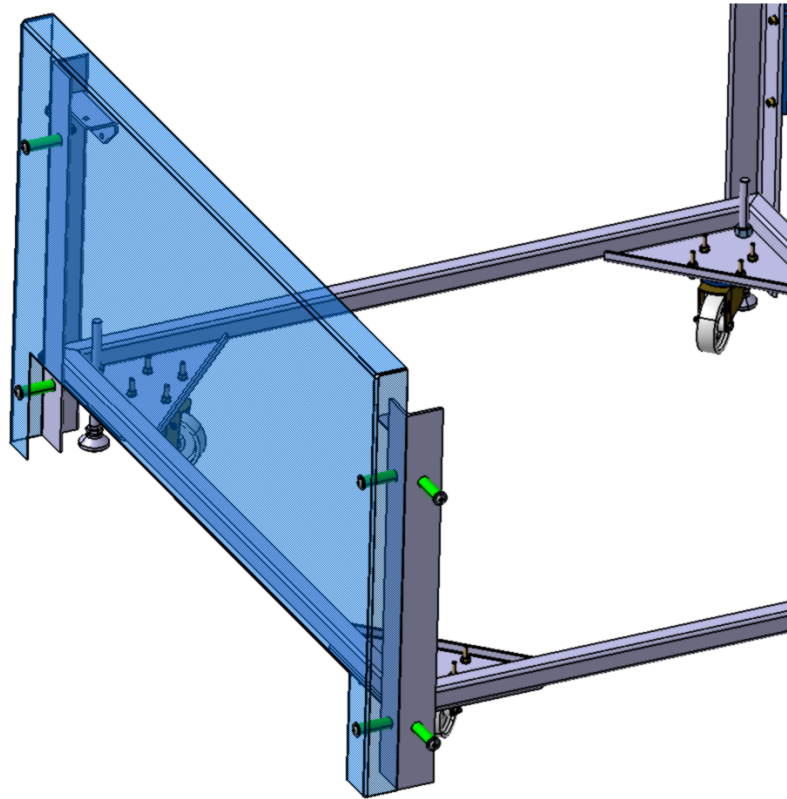


Ilustración IV-19. Se muestra la tapa exterior de forma transparente para apreciar la colocación de los elementos conductores [captura del diseño en Catia V5].

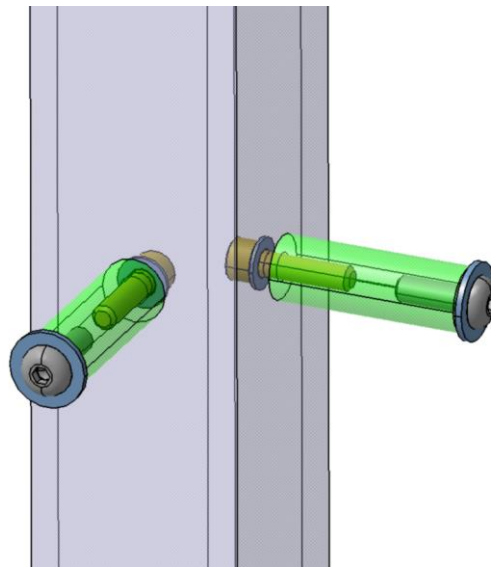


Ilustración IV-20. Detalle de los tubos de teflón y su anclaje a la pata, ocultando la tapa exterior [captura del diseño en Catia V5].

4.3.4 Conjunto puesto de mando ("TFG-24000")

Se agrupan en este subconjunto los elementos que forman el puesto de mando. Consiste en una carcasa atornillada a una de las patas que contendrá los mandos de control, los cuales se representan con una chapa gris. La implementación de los mismos corre a cargo de una empresa independiente a Sertec.

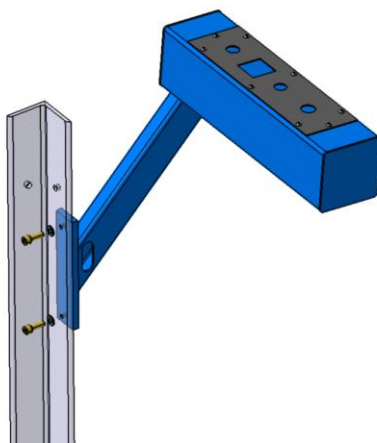


Ilustración IV-21. Puesto de mando y su anclaje a la pata [captura del diseño en Catia V5].

4.3.5 Comerciales ("TFG-20000-STD01")

Por último, se colocarán en este nodo de componentes los elementos comerciales del *Conjunto inferior*, que son las ruedas y los pies de máquina.

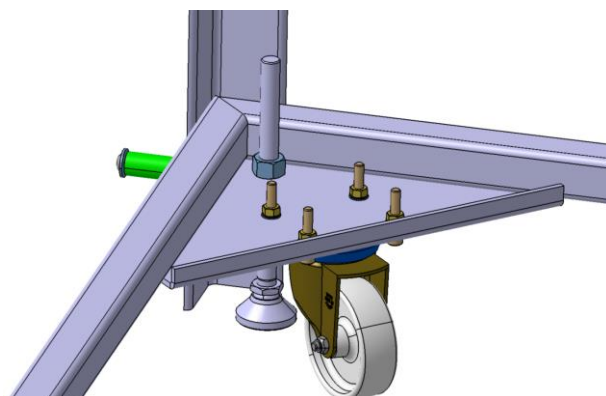


Ilustración IV-22. Ruedas y pie de máquina que forman las comerciales [captura del diseño en Catia V5].

Por otro lado, destacar que la tornillería que une los subconjuntos descritos en los anteriores apartados sigue la configuración estándar de tornillo-arandela y están agrupados en el resto de nodos de componentes. No se detallarán cada uno de ellos para no alargar ni sobrecargar el proyecto de forma innecesaria.

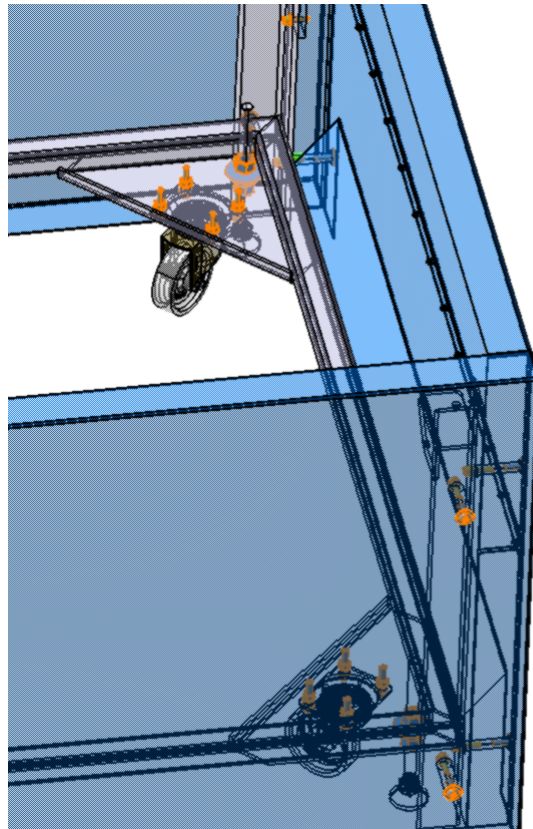
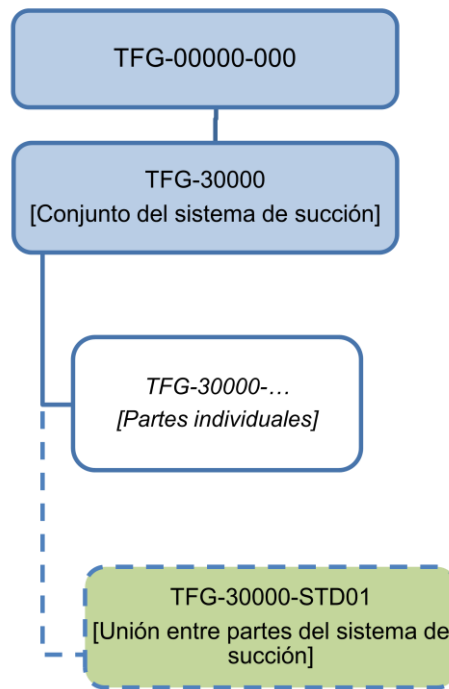


Ilustración IV-23. Detalle de la tornillería (en naranja) que une los subconjuntos.

4.4 Conjunto del sistema de succión ("TFG-30000")

Este es el conjunto más simple de los tres, ya que consta solamente de unas piezas y la tornillería que las une entre sí. El esquema es el siguiente:



El objetivo de este conjunto es la conexión de la cámara de vacío con la toma situada en el exterior del utillaje, para facilitar la conexión a la red de vacío del cliente. (Ver apartado 4.2.1).

Para ello, se diseña una manguera metálica que se conectará a la salida del tubo, y cuyo otro extremo saldrá fuera de la carcasa de la mesa.



Ilustración IV-24. Conjunto de sistema de succión "TFG-30000" [captura del diseño en Catia V5].

La manguera se une a la chapa inferior del Conjunto superior por medio de unas chapas, como se muestra en la Ilustración IV-25.

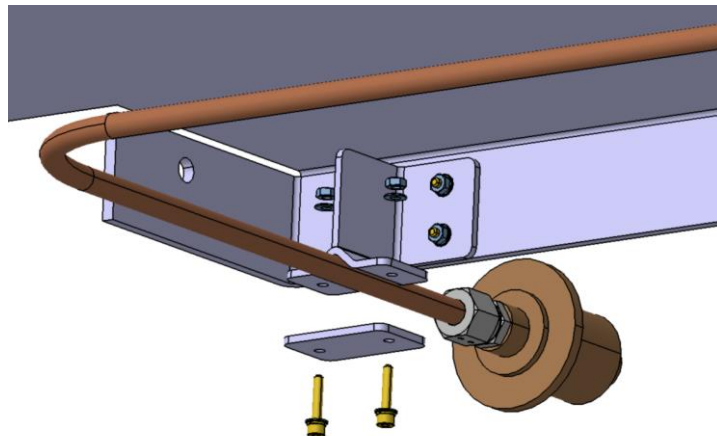
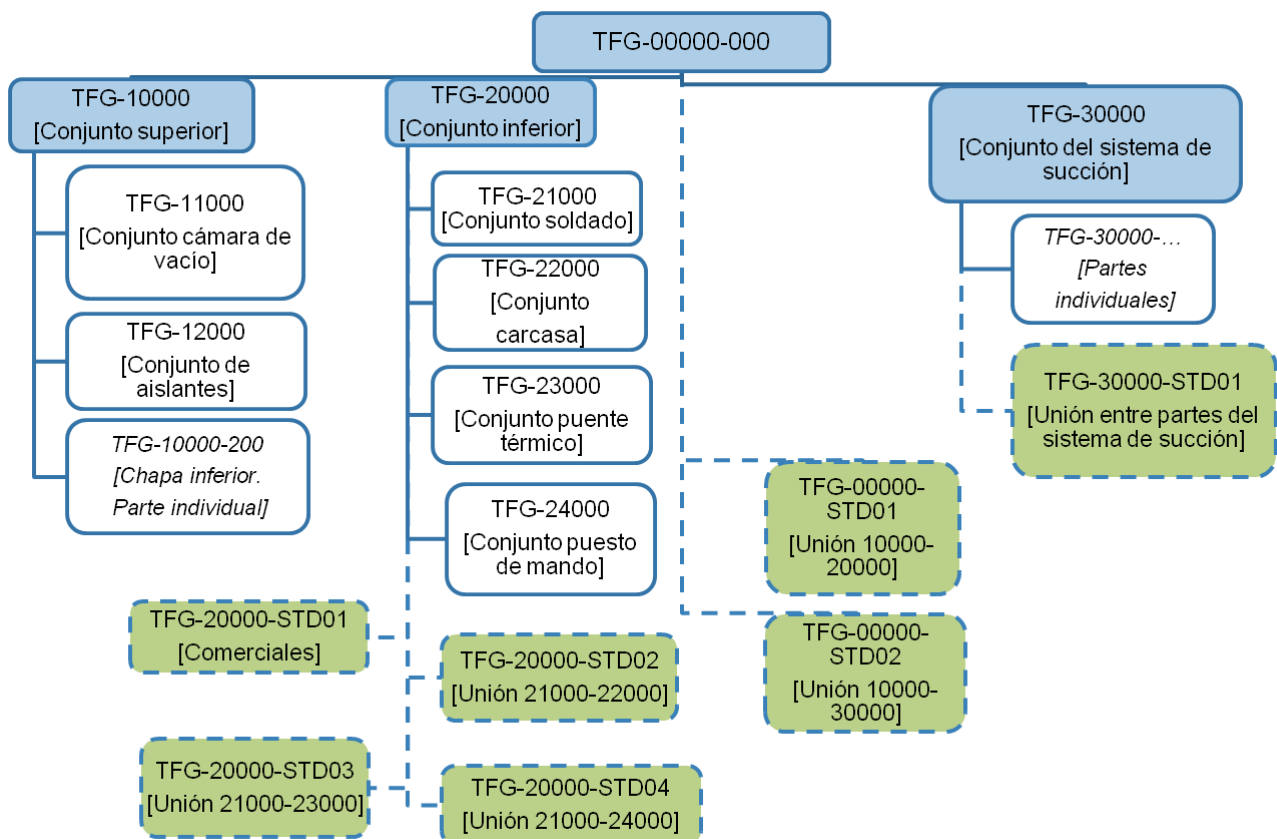


Ilustración IV-25. Detalle del anclaje a la chapa inferior [captura del diseño en Catia V5].

A continuación, se coloca un conector “SMC 10M 4N” (el mismo que se usa en el tubo del *Conjunto superior*). Finalmente, se debe colocar la toma para ser conectado al sistema de vacío externo, para lo cual se utiliza el acoplamiento de uso en sistemas de alta temperatura “ER-500”, diseñado especialmente para un conexionado rápido entre el sistema de succión del utillaje y el sistema de vacío del cliente.

Con todo esto, queda definido el conjunto principal de una forma modular, para así facilitar el trabajo de diseño en Catia V5 o para reutilizar módulos en futuros proyectos similares.



Por último, como dato complementario, señalar que el precio del proyecto en su totalidad ronda los 35.000€, de los cuales 9.000€ son relativos al gasto en Ingeniería (diseño, documentación en 2D y 3D, análisis, calidad...), y aproximadamente 26.000€ por la fabricación (incluyendo los elementos estándar, el montaje y la pintura). En cuanto a la manufactura, comenzará en octubre de 2017 y se estima una duración aproximada de tres meses, incluyendo las fases de: acopio de material y mecanizado plancha superior, fabricación de cámara de vacío y estructura portante, y por último las pruebas de vacío.

CAPÍTULO V

Conclusiones

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Grado era realizar un diseño completo en Catia V5, un programa de CAD (Diseño Asistido por Ordenador), de un utillaje que permitiera fabricar unos paneles rigidizados de fibra de carbono y polímero termoplástico, cumpliendo los requisitos y consideraciones marcados por el cliente. Estos requisitos se resumirán a continuación, para comprobar si la herramienta que se ha diseñado cumple con todos ellos, y, por tanto, se considerare el diseño como válido y listo para su fabricación.

- Las dimensiones de la son 1300 x 1300 mm, con un espacio perforado de 1100 x 1100 mm. Ver plano en Anexo A.
- El espesor de la placa es correcto para las condiciones de trabajo. En concreto, 50 mm. Ver planos del Anexo A.
- La placa queda a 859 mm del suelo. Ver planos del Anexo A
- Los cajeados tienen las dimensiones marcadas en la especificación (ver apartado 2.2.2). Ver planos en Anexo A.
- La calefacción es capaz de alcanzar los 250°C, y las propiedades de los materiales del utillaje pueden llegar a aguantar 450°C.
- Los orificios en la placa para el vacío tienen 1.5 mm de diámetro, y están espaciados la distancia requerida (20 mm). Ver planos del Anexo A.

- La empresa encargada de la instalación de las resistencias tendrá en cuenta los requerimientos de los 5 puntos de control de temperatura.
- El soporte tiene ruedas retráctiles y patas regulables.
- La mesa está grabada con las líneas de referencia requeridas, así como la superficie de laminación.

Por lo tanto, se puede considerar que el resultado de este trabajo de diseño ha sido satisfactorio, y el utillaje ha sido completado al detalle cumpliendo las necesidades del cliente. Cabe señalar, como ya se explicó en el Capítulo 2, que, si bien el alcance de este proyecto se ha limitado al proceso de diseño del utillaje en Catia V5, para su fabricación y venta al cliente se han llevado a cabo distintas tareas adicionales, tanto administrativas, como de planificación, logística, calidad, documentación...Y formar parte de este proyecto me ha servido para obtener una gran experiencia acerca de cómo funciona un proyecto ingenieril real en la industria. Además de los conocimientos adquiridos en el manejo de uno de los programas de diseño más potentes y utilizados en el sector, el Catia V5.

Por otro lado, el objetivo secundario de este trabajo era realizar una profunda investigación del estado del arte actual acerca de los materiales compuestos en la industria aeronáutica y de los métodos de fabricación de los mismos. Tras una intensa lectura y asimilación de contenidos de diversas fuentes (desde libros científicos de prestigiosos autores, hasta revistas de actualidad tecnológica o artículos de compañías especializadas), se ha realizado una recopilación a modo de resumen, para ofrecer una visión global y actualizada acerca de una industria tan compleja y en pleno desarrollo como es la fabricación de los materiales compuestos.

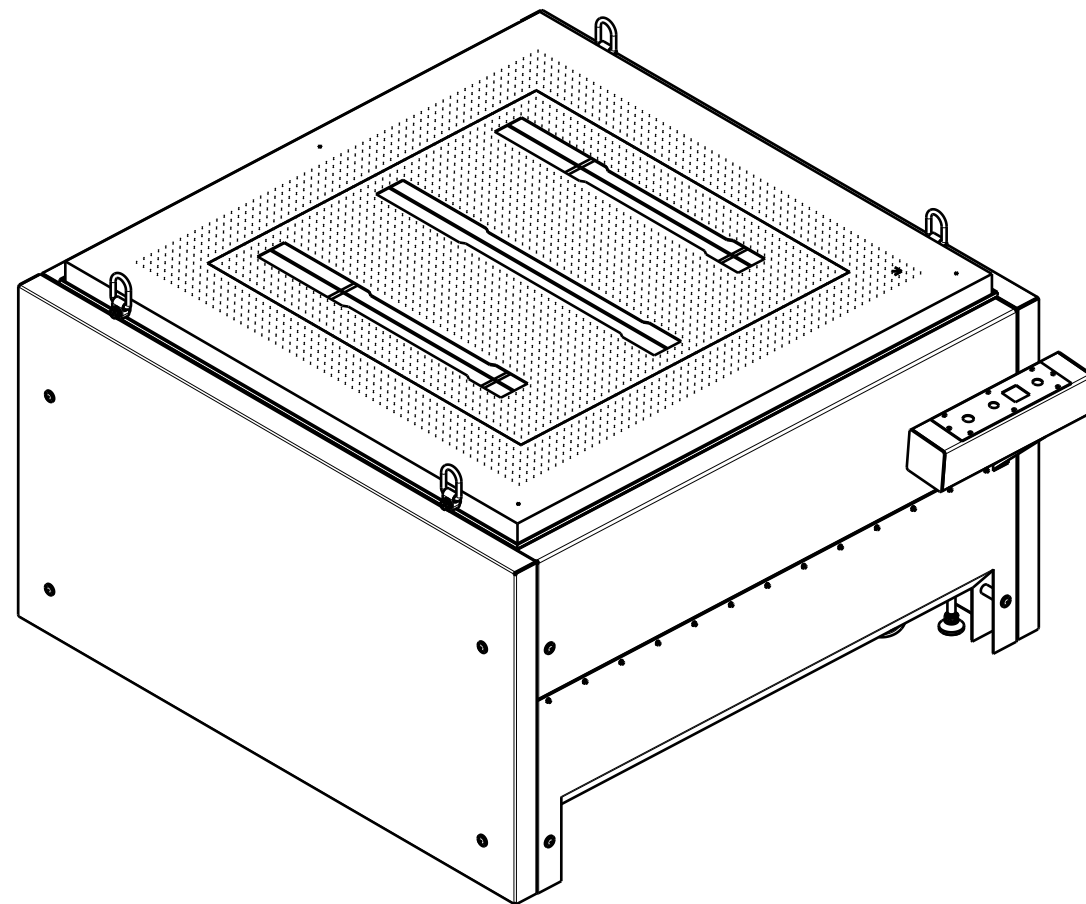
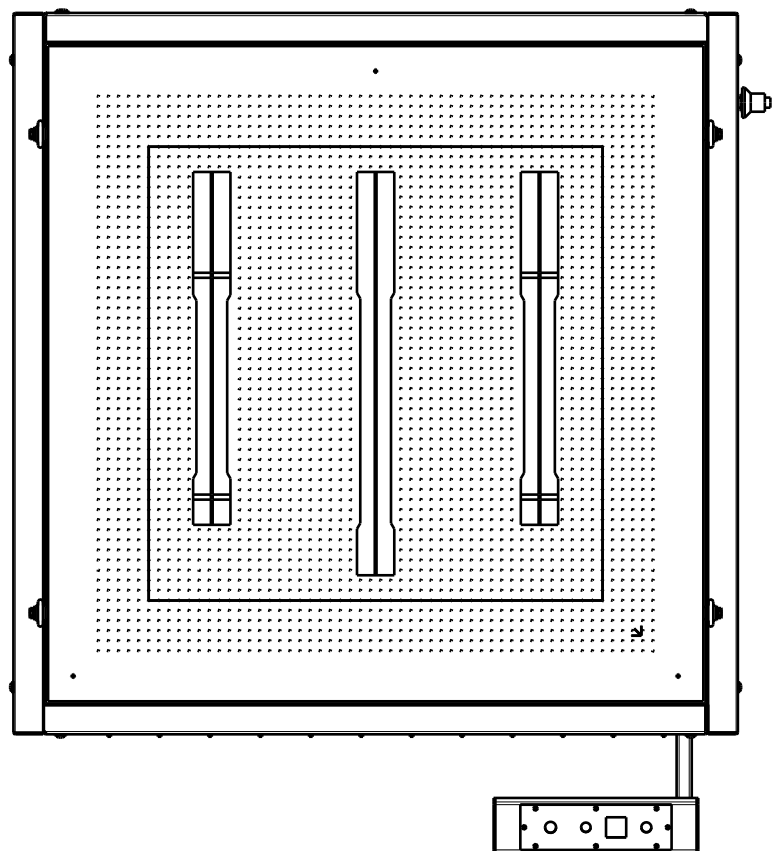
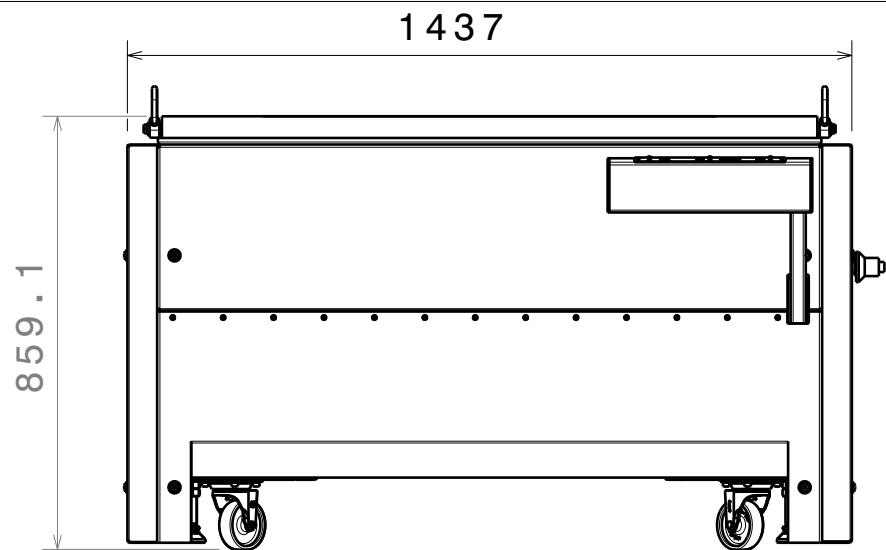
Si bien lo ofrecido en este trabajo es sólo una síntesis que sirva de acercamiento al lector, se recomienda la lectura de aquellas fuentes citadas en cada uno de los párrafos y que aparecen recapituladas en la Bibliografía.

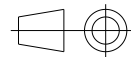
Se considera que este trabajo de investigación se ha llevado a cabo de forma muy positiva, puesto que toda la información recogida en este

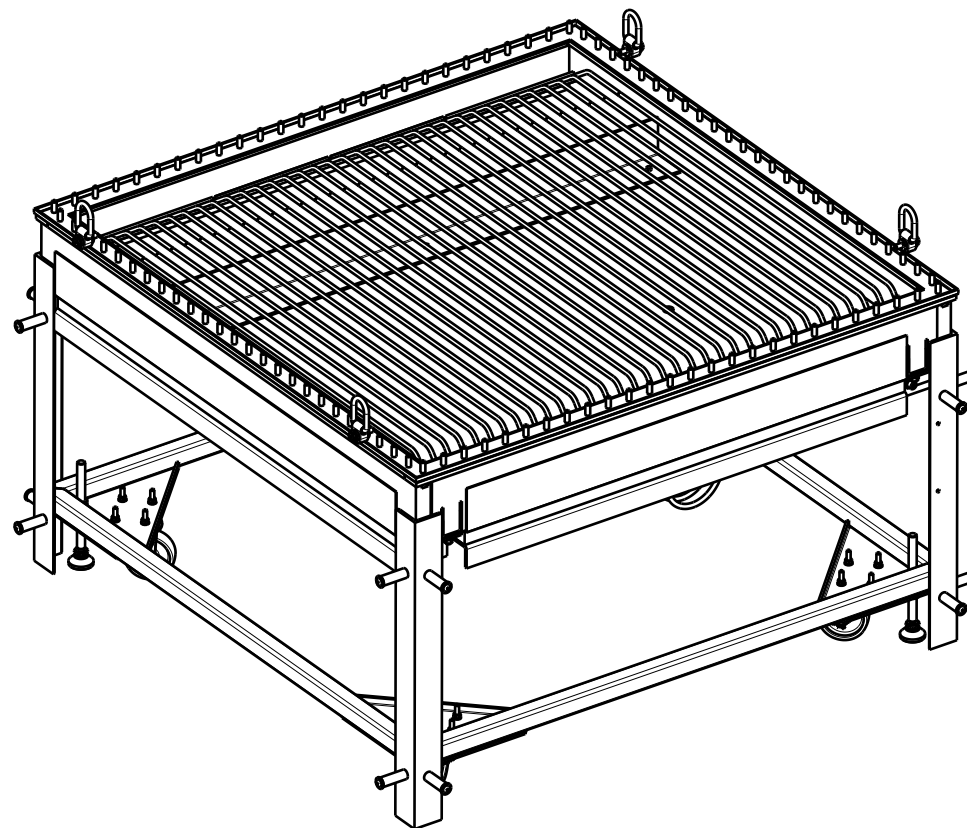
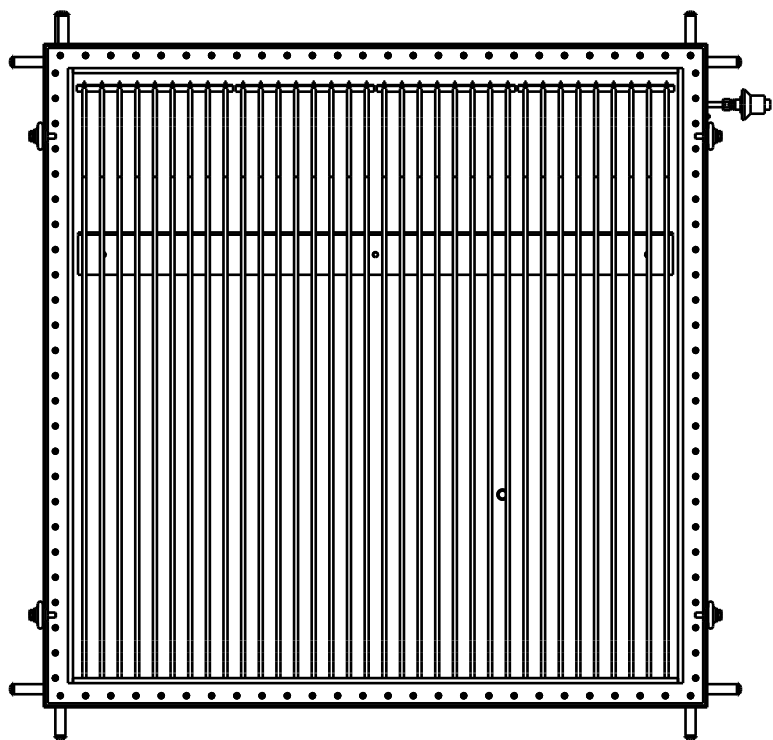
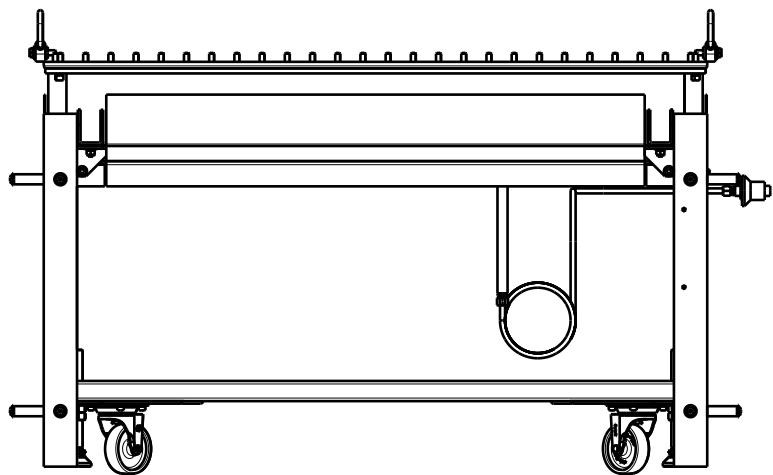
documento se encuentra de forma muy dispersa en las diversas webs, libros o artículos, estando la mayoría escritos en inglés.

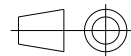
CAPÍTULO VI Anexos

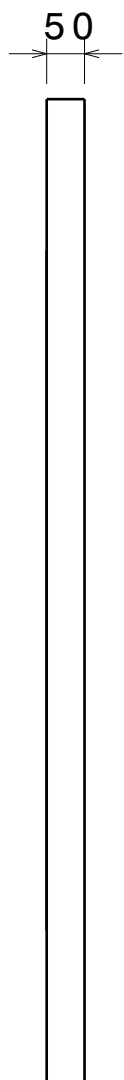
Anexo A	Planos
Anexo A.1	Conjunto mesa
Anexo A.2	Conjunto mesa sin tapas
Anexo A.3	Placa de laminado
Anexo B	Fichas técnicas de productos
Anexo B.1	Resistencias eléctricas
Anexo B.2	Placas de vermiculita
Anexo B.3	Lana de roca
Anexo B.4	Barras de PTFE
Anexo B.5	Junta de la placa
Anexo B.6	Adhesivo Nural 30
Anexo B.7	Adhesivo Loctite SI 5399
Anexo C	Elementos comerciales
Anexo C.1	Niveladores
Anexo C.2	Ruedas Alex
Anexo C.3	Cáncamos
Anexo C.4	Acoplamiento ER-500



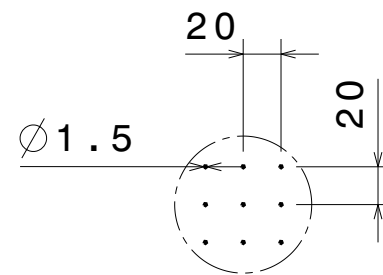
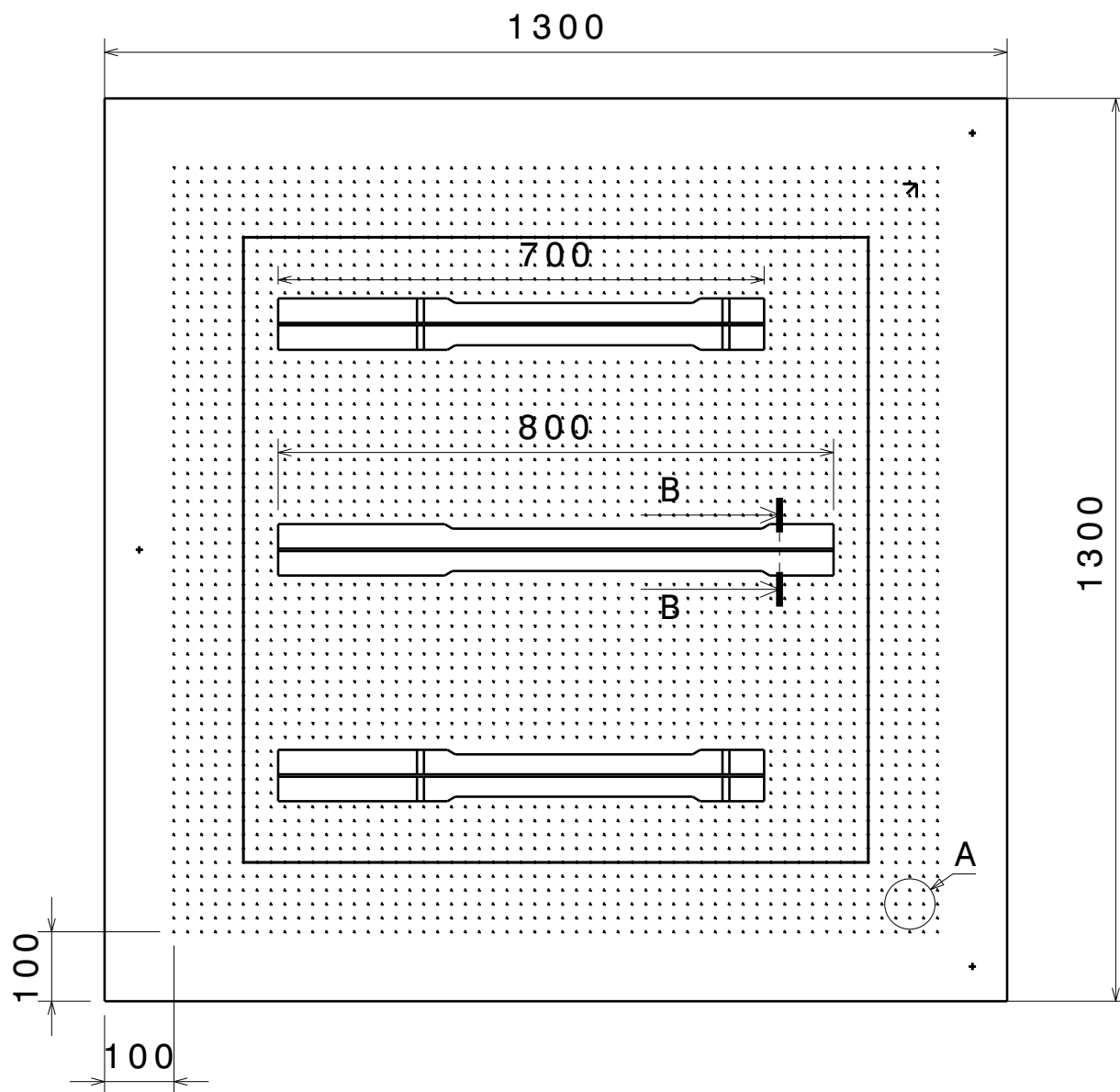
Escala 1:15	Fecha 14/07/2017
Material S275	
CONJUNTO MESA	
TFG-00000-000	
Hoja 1	
Anexo A.1	



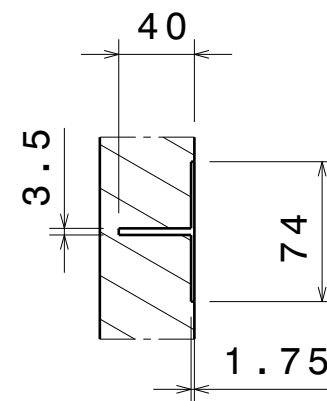
Escala 1:15	Fecha 14/07/2017
Material S275	
CONJUNTO MESA SIN TAPAS	
TFG-00000-000	Hoja 2
	Anexo A. 2



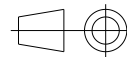
Vista lateral



Detalle A
Escala: 1:4



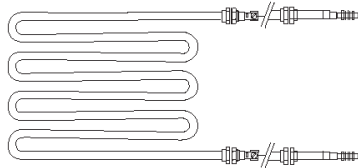
Sección B-B
Escala: 1:4

Escala 1:10	Fecha 14/07/2017
Material S275	
PLACA DE LAMINADO	
TFG-11000-200	Hoja 3
	Anexo A. 3

Anexo B. Fichas técnicas de productos.

Anexo B.1. Resistencias eléctricas.

RESISTENCIAS ELÉCTRICAS PARA USO INDUSTRIAL . HEATING COMPONENTS FOR INDUSTRIAL APPLIANCES



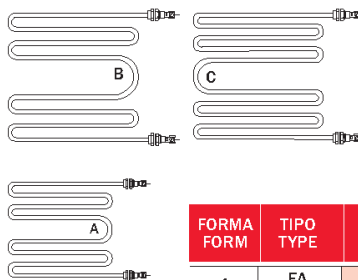
EA
Elementos para hornos y estufas

Aplicaciones: Recambio para AER 786 y AER 785.
Fabricación: En tubo de acero inoxidable AISI 310S refractario Ø8 mm, con rácores M12 y bornes espiga M4. Temperatura máxima del elemento de 750 °C.

EA
Elements for stoves and ovens

Applications: Spare parts for AER 786 and AER 785.
Manufacture: In tube of stainless steel AISI 310S refractory Ø8 mm, with nipples M12 and terminals M4. Maximum temperature of the element 750 °C.

TIPO TYPE	CÓDIGO CODE	V	W	L	LI	CARGA LOAD W/cm ²	Kg
EA-786	43183	230	2500	268	75	3,3	0,71
EA-785	67830		2000	245	50	3,4	0,65



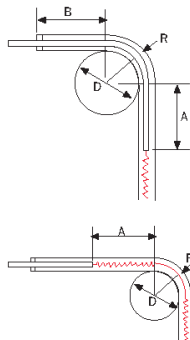
EA
Elementos para hornos y estufas

Aplicaciones: Recambio para aerotermos AER-PE y AER-ME.
Fabricación: En tubo de acero inoxidable AISI 321 Ø8mm, rácores M12 y terminal Faston 6,3 doble recto.

EA
Elements for stoves and ovens

Applications: Spare parts for air blow heaters AER-PE and AER - ME.
Manufacture: In tube of stainless steel AISI 321 Ø8mm, nipples M12 and terminal Faston 6,3 double .

FORMA FORM	TIPO TYPE	CÓDIGO CODE	V	W	L	LI	CARGA LOAD W/cm ²	Kg
A	EA	60628	230	1730	240	42	4,0	0,42
	EA	73527		1600	240		2,4	0,42
B	EA	60492		2000	306		3,7	0,51
C	EA	60491		3000	306		4,4	0,63



CER
Curvado especial

Descripción: Los elementos tubulares se suministran con tratamiento recocido, lo que permite su fácil curvado por el usuario, para poder adaptarlos a sus propias necesidades. Deben tenerse en cuenta las siguientes indicaciones:

- Diámetro mínimo de curvatura R25 mm (para tubos de Incoloy R30mm).
- El punto de unión entre zona fría y zona calefactora debe estar separada de la zona a curvar.
- Podemos curvar en fábrica estos elementos con radios R más pequeños y con diversas formas según plano o indicaciones del cliente (Código CER 60294 para mínimo 24 elementos).

Diámetro de curvaturas: El curvado debe respetar las cotas mínimas indicadas para no producir daños al elemento.

Características: Código de curvado de cualquier elemento recto, para cualquier diámetro y calidad de funda:

1 Código CER = 1 Curva

CER
Special Shape

Description: The tubular elements are provided with unnealed treatment, which allows its easy shape to be able to adapt them to the real needs. The following indications must be born in mind:

- Minimal Diameter for bending R25 mm (for tubes of Incoloy R30mm).
- The point of union between cold and hot area must be separated from the bending zone.

• We may shape in factory these elements with radioes R smaller and with diverse forms according to drawings or indications by the client (Code CER 60294 for minimum 24 elements).

Diameter for bending: The shape must respect the minimal dimensions showed, in order to avoid damages to the element.

Features: Code for bending of any straight element, for any diameter and quality of tube:

1 Code CER = 1 Curve

Ø ELEM. ELT. Ø	CURVADO EN FÁBRICA FACTORY BENDING			CURVADO USUARIO CUSTOMER BENDING			
	A	B	R	A	B	R	D
6,4	15	15	8	30	25	18	30
8			9			20	32
10	25	25	10			25	40
12,5			13			31	50
16			16			38	60

ELEMENTOS TUBULARES

Solución universal para el calentamiento de líquidos, gases y sólidos, basados en una resistencia eléctrica blindada.

Ideal para aplicaciones de calor eléctrico en ambientes de aire en calma, forzado por convección, emitiendo calor por radiación. Conformado en forma de U simple o múltiple y montado en conducto. Tubo en distintos materiales en función del rango de temperatura, el entorno de trabajo y el medio a calentar.

Solución ideal para la mayoría de aplicaciones de calor eléctrico gracias a su gran versatilidad y resistencia mecánica a golpes y vibraciones.

Los elementos tubulares se suministran con tratamiento recocido, que facilita su curvado en frío por el usuario para adaptarlos a las necesidades de cada aplicación (seguir indicaciones para el curvado de los elementos).

TUBULAR ELEMENTS

Universal solution for the warming of liquids, gases and solid, based on electrical tubular sheathed resistance.

Ideal for applications of electrical heat in still air ambiances, forced by convection, heat for radiation. Shaped in "U" shape simple or multiple and mounted in conduit.

Tube in different materials according to the status of temperature, the work environment.

Ideal solution for the majority of applications of electrical heat thanks to its high versatility and mechanical resistance to impact and vibrations.

The tubular elements are provided with unnealed treatment, which to shape them in cold conditions and to adapt to the needs for every application (follow indications to form elements).



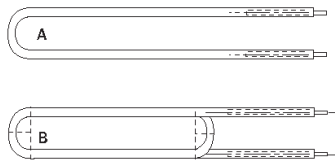
ER
Elementos rectos

Aplicaciones: En aire en calma, en aire forzado y en inmersión según carga W/cm².
Fabricación: Con tubo de acero inoxidable AISI 321 recocido de Ø8mm y bornes M3,5. Fácilmente adaptables en múltiples usos industriales, como estufas, hornos, placas calefactoras, etc.

ER
Straight elements

Applications: In still air, forced air and immersion as load W/cm².
Manufacture: With tube of stainless steel AISI 321 unnealed Ø8mm and terminals M3,5. Easily adaptable in multiple industrial uses, like stoves, heating plates, etc.

TIPO TYPE	CÓDIGO CODE	V	W	LT	LI	CARGA LOAD W/cm²	Kg
ER	19602	230	500	500	50	4,5	0,11
ER	19612		750	750		4,5	0,17
ER	19622		1000	1100		4,4	0,23
ER	19632		1500	1500		4,3	0,36
ER	19642		2000	2000		4,5	0,34
ER	19652		2500	2500		4,5	0,46
ER	19662		3000	3000		4,5	0,57



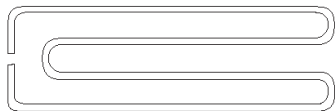
EHT
Elementos para hornos y estufas

Aplicaciones: Para uso en estufas o aire forzado en baterías para alta temperatura.
Fabricación: Con tubo de acero inoxidable AISI 309S refractario Ø12,5mm, bornes con tuercas y arandelas M5 en inoxidable, para alta temperatura.
Temperatura máxima del elemento 800°C.

EHT
Elements for stoves and ovens

Applications: For use in heaters or air forced in batteries for high temperature.
Manufacture: With tube of stainless steel AISI 309S refractory Ø12,5mm, terminals with nuts and washers M5 in stainless steel, for high temperature.
Maximum temperature of the element 800°C.

TIPO TYPE	CÓDIGO CODE	V	W	LT	LI	CARGA LOAD W/cm²	Kg
EHT	A 58150	230	1666	555	75	5,2	0,6
EHT	58149		3000	925		4,9	1,0
EHT	B 60353		1666	555	175	2,1	1,1
EHT	60354		3333	925		2,4	1,9



EA
Elementos para hornos y estufas

Aplicaciones: Recambio panel radiante PR. Equipos de secado y túneles por radiación.
Fabricación: Con tubo de acero inoxidable AISI 310S Ø8mm, borne M4 soldado por puntos y tornillo y arandela en AISI 304.

EA
Elements for stoves and ovens

Applications: Spare part for radiant pannel PR. Drying equipment and radiation tunnels.
Manufacture: Stainless Steel AISI 310S Ø8mm, spot welded M4 terminals and nut and washer AISI 304.

TIPO TYPE	CÓDIGO CODE	V	W	L	LI	CARGA LOAD W/cm²	Kg
EA	66702	230	3500	674	25	4,87	1,0

Anexo B.2. Placas de vermiculita.



PLACAS DE VERMICULITA

PLACAS DE VERMICULITA



La vermiculita es una forma de capa natural de silicato de aluminio-magnesio que se expande al aplicarle calor. Este proceso de expansión se llama exfoliación y el material resultante es utilizado a granel o en forma de panel, como resultado de la compresión. Es un material con el que se puede trabajar fácilmente utilizando herramientas convencionales. Puede ser perforado, atornillado y lijado.

Características principales:

- Baja conductividad térmica
- Fácil de mecanizar
- Más fuerte que las placas de fibra cerámica

Ejemplos de aplicación:

- Calentadores
- Placas de puertas en chimeneas
- Calderas
- Buques y tanques
- Chimeneas y estufas

Anexo B.3. Lana de roca ChovACUSTIC PLUS FIELTEX.



Acústica

Aislamiento acústico Chova ruido aéreo

Modelo

VISCOLAM

Descripción

Lámina viscoelástica de alta densidad, diseñada para la mejora del aislamiento acústico. Refuerzo del aislamiento de placas de yeso laminado.

Referencia	Peso medio (kg/m ²)	Dimensiones (m)	Palet (m ²)	Espesor (mm)	€/m ²
ViscoLAM 35	3,5	Rollo 10 x 1	270	2	4,92
ViscoLAM 65	6,5	Rollo 5,5 x 1	165	4	7,13
ViscoLAM adhesiva	6,5	Plancha 1,2 x 1	138	4	10,05
ViscoLAM adhesiva	6,5	Rollo 5,5 x 1	137,5	4	9,87
ViscoLAM 100	10	Plancha 1,2 x 1	90	6,5	11,35

Modelo

CHOVACUSTIC

Descripción

Formado por una capa de napa de poliéster de 20 mm adherida térmicamente a una lámina viscoelástica de alta densidad.

Modelo

CHOVACUSTIC FIELTEX

Descripción

Formado por un absorbente de fieltro textil de 16 mm de espesor adherida térmicamente a una lámina viscoelástica de alta densidad.

Referencia	Peso medio (kg/m ²)	Dimensiones (m)	Palet (m ²)	Espesor (mm)	€/m ²
ChovACUSTIC 35	3,9	Rollo 5,5 x 1	66	22	12,56
ChovACUSTIC 35 FIELTEX	4,4	Rollo 5,5 x 1	66	18	12,56
ChovACUSTIC 65	6,9	Rollo 5,5 x 1	66	24	14,97
ChovACUSTIC 65 FIELTEX	7,4	Rollo 5,5 x 1	66	20	14,97

Modelo

CHOVACUSTIC PLUS

Descripción

Formado por dos capas asimétricas (en densidad y espesor) de napa de poliéster o fieltro textil, adheridas térmicamente a una lámina viscoelástica de alta densidad.

Referencia	Peso medio (kg/m ²)	Dimensiones (m)	Palet (m ²)	Espesor (mm)	€/m ²
ChovACUSTIC PLUS	7,4	Rollo 5,5 x 1	49,5	39	21,00
ChovACUSTIC PLUS FIELTEX	8,3	Rollo 5,5 x 1	49,5	36	21,00



ViscoLAM



ChovACUSTIC FIELTEX



ChovACUSTIC

Anexo B.4. Barras de PTFE

07/03/13

Barras y Placas de Teflon PTFE



[Página principal](#)

[Servicios](#)

[Productos](#)

[Contacto](#)

[Aluminio](#)

[Plásticos Técnicos](#)

[Bronce](#)

[Cobre](#)

[Latón](#)

[Hierro](#)

[BUSCAR](#)

VALENCIA

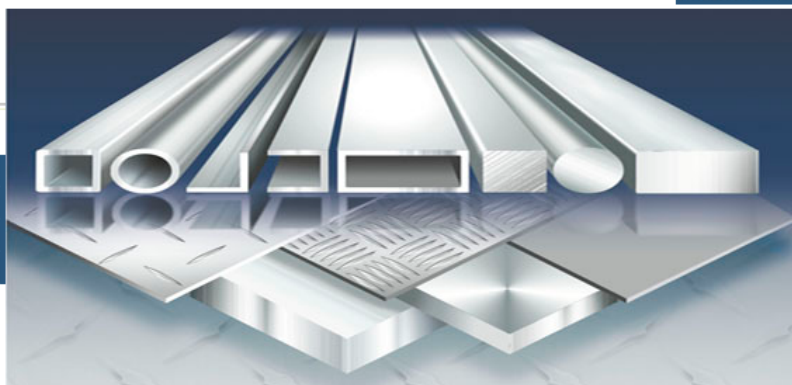
Pol. Ind. Fuente del Jarro
C/Ciudad de Elda, 17-19
46988, Paterna, Valencia
broncesval@broncesval.com
Comercial Tel. 96 134 07 76
Fax. 96 134 09 43

Admin. Tel. 96 134 34 21
Fax. 96 134 12 28

BRONCESVAL CATALUNYA
Pol. Ind. Molí d'en Xec
(Junta Baricentro)
08291, Ripollet, Barcelona
catalunya@broncesval.com
Tel. 93 565 10 70
Fax. 93 575 39 45

ANDALUCÍA
Pol. Ind. CALONGE
C/Automoción, 1 (Junto Peugeot)
41007, Sevilla
andalucia@broncesval.com
Tels. 95 443 06 51
Fax. 95 443 04 29

[Escribenos](#)



[Catálogo](#)

[Imprimir](#) [Volver](#)

Teflón

Teflón PTFE

FICHA TÉCNICA

PROPIEDADES FÍSICAS Y TÉCNICAS DE COMPOUNDS DE PTFE

PROPIEDADES PTFE	PTFE Virgen	25% fibra de vidrio	25% Carbón Grafito	60% Bronce	20% Vidrio 5% Grafito	Unidades
Peso específico PTFE	2,18	2,23	2,1	3,90	2,18	Gr/cm2
Absorción H2O PTFE	0	0,015	0,01	0,02	0,016	%
Coefficiente transmisión Térmica cal/- PTFE	6x	19x	10	11,5	8,9	Cal/seg/cm2 /°C-cm x10 exp -4
Coefficiente Dilatación lineal térmica 20-100 PTFE	12,2	7,5	5,5	8	4,7	x10 exp -5
Coficiente de rozamiento dinámico PTFE	0,08	0,12	0,17	0,16	0,15	P=0,14k/cm2 V=6m/mi
P.V límite 3m/minuto 30/minuto 300/minuto	26 39 54	215 280 340	300 430 640	320 400 600	235 320 470	Kg. m. cm2.
Dureza Shore "D" PTFE	51	57	65	65	56	Shore "D"
Rigidez dieléctrica PTFE	59	12,9	-	Conduct.	2,5	Kv m/n
Constante dieléctrica PTFE	2,1	2,6	-	Conduct.	3,38	6 OHZ
Resistencia Volumen PTFE	18 10	13 10	3 10	X	13 10	Ohm. cm.

RESISTENCIA MECÁNICA DE COMPOUNDS DE PTFE

PROPIEDADES PTFE	PTFE Virgen	25% Fibra Vidrio	25% Carbón Grafito	60% Bronce	20% F.V 5% Grafito	Unidades
Resistencia a tracción PTFE	245 a 315	150 a 190	100 a 140	125 a 140	112 a 161	Kg/cm2
AlargamientoPTFE	300 a 400	200 a 300	75 a 110	80 a 90	200 a 220	9

Anexo B.5. Junta de la placa.



JUNTAS BESMA S.A.
 BARRIO BARRONDO, 12, POLÍGONO LANDETXE, 48480 ZARATAMO, BIZKAIA, ESPAÑA
 TFNO.: (34) 946 71 42 30 - FAX: (34) 946 71 43 60 - E-MAIL: besma@juntasbesma.com
[Http://www.juntasbesma.com](http://www.juntasbesma.com)



Plancha de Fibras Tipo : KLINGER®top-sil-ML1

Multi-Capa

Aplicaciones: Servicios de alta temperatura, vapor, aceites e hidrocarburos

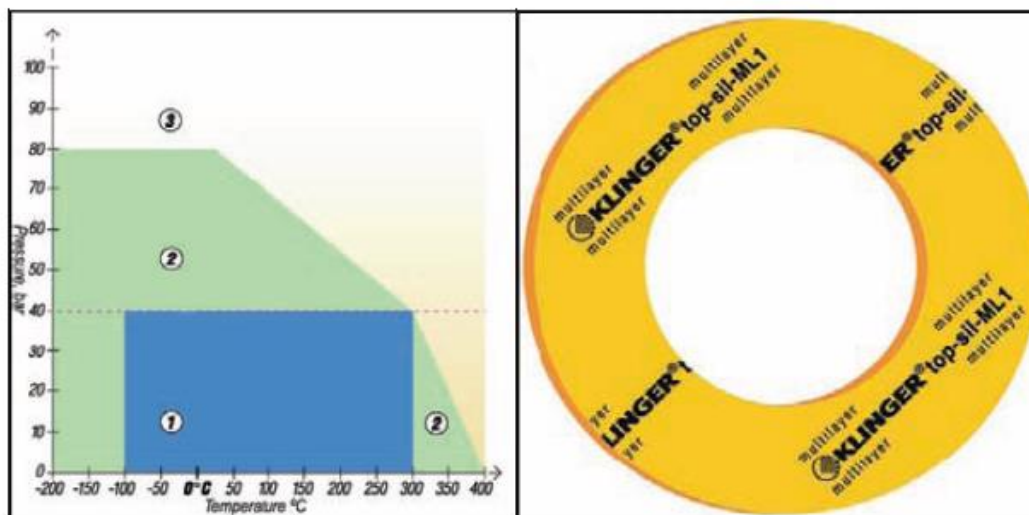
* Único material diseñado en multi-capa para servicios de alta temperatura.

* Excepcional resistencia al vapor.

* Disponible en planchas y en juntas cortadas.

Especificaciones

Tipo	: KLINGER®top-sil-ML1
Materiales	: Fibra de vidrio con elastómeros en multi-capa
Color	: Amarillo ambas caras
Especificaciones técnicas	
Compresibilidad según ASTM F36A	: 9%
Recuperación según ASTM F36A	: 50%
Relajación de tensión según DIN 52913:	
50MPa, 16h/300°C	: 28 MPa
50MPa, 16h/175°C	: 34 MPa
Estanqueidad según DIN 3535/6	: <0,1 mg/s x m
Densidad	: 1,7 g/cm³
Resistencia química	: Ver lista de compatibilidad química.
Aprobaciones	: DIN DVGW BAM BS 7531 Grado X- WRC+KTW



* Gráfico presión/temperatura:

Area 1: Normalmente satisfactorio.

Area 2: Normalmente satisfactorio, pero sujeto a revisión o confirmación de Klinger.

Area 3: Precaución: Puede ser válido pero necesita confirmación de Klinger.

Anexo B.6. Adhesivo Nural 30



CALIDAD HENKEL



CALIDAD HENKEL



NURAL 30

Hoja de Datos técnicos
Versión: 19/04/2001

Sellador para temperaturas extremas

Tipo de Producto:	Masilla adhesiva monocomponente a base de silicatos.
Campo de aplicación:	Sellado de uniones, grietas o fisuras que tengan que soportar altas temperaturas.
Características de empleo:	
- Preparación del soporte:	Las superficies a unir deben estar limpias de polvo, grasa, arenilla y óxido. Humedecer con agua las partes a reparar.
- Aplicación del producto:	Aplicar el producto sobre la pieza a reparar apretando fuertemente con la espátula, para lograr la máxima adherencia. Poner la instalación en marcha (El calor acelera el endurecimiento del producto).
Propiedades del adhesivo endurecido:	
- Color:	Negro.
- Resistencia térmica:	Hasta 850 °C.
Otras propiedades:	Desmontable. Permite la limpieza de chimeneas y tubos.
Presentación:	Tubo de 110 g.

Condiciones de almacenamiento:

El producto debe ser almacenado entre 10 °C y 25 °C.

Plazo de validez:

El plazo de validez de este producto, conservado dentro de su envase original cerrado y en correctas condiciones de almacenamiento es de 5 años. Pasado este plazo, el producto aún puede encontrarse en buen estado; se recomienda comprobarlo mediante un ensayo previo o consultando a nuestro Servicio de Asistencia al Cliente.

Importante

La presente información está basada en nuestra experiencia práctica y ensayos de laboratorio. Debido a la gran diversidad de materiales existentes en el mercado y a las diferentes formas de aplicación que quedan fuera de nuestro control, recordamos la necesidad de efectuar en cada caso ensayos prácticos y controles suficientes para garantizar la idoneidad del producto en cada aplicación concreta. Nuestra garantía se extiende únicamente a la uniforme calidad de los lotes suministrados, que son sometidos a estrictos controles analíticos, no pudiendo exigirse otras responsabilidades.

Anexo B.7. Adhesivo Loctite SI 5399



Technical Data Sheet

LOCTITE® SI 5399™

Conocido como LOCTITE® 5399™
Diciembre 2013

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

LOCTITE® SI 5399™ presenta las siguientes características:

Tecnología	Silicona
Tipo de química	Silicona Acética
Aspecto (sin curar)	Pasta roja
Componentes	Monocomponente Sin mezclado
Isótropico	Reduce la migración del producto tras la aplicación al sustrato.
Curado	Vulcanizado a Temperatura Ambiente (RTV)
Campo de aplicación	Unión / Sellado

LOCTITE® SI 5399™ se emplea, generalmente, en aplicaciones de sellado pero también para unión y protección a alta temperatura. Se emplea, principalmente, en aplicaciones de sellado/adhesión industriales, ingeniería de calefacción, hornos industriales, electrodomésticos y equipos de calefacción industrial. Este producto se usa, normalmente, en aplicaciones hasta 350 °C.

PROPIEDADES TÍPICAS DEL MATERIAL SIN CURAR

Peso específico @ 20 °C	1,04
Grado de extrusión, g/min:	
Presión 0,6 MPa, temperatura 25 °C:	
Boquilla 3 mm	250
Punto de inflamabilidad- Consultar la HS	

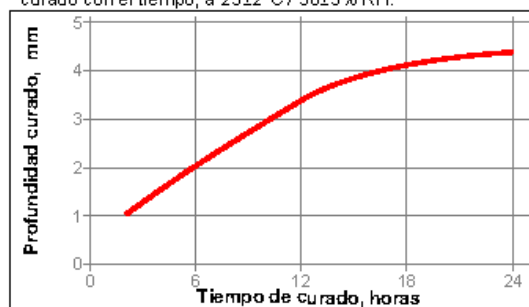
CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE CURADO

Curado Superficial

LOCTITE® SI 5399™ queda seco al tacto tras la exposición a la humedad atmosférica, en el transcurso de 5 minutos a 23±2°C / 50±5%RH.

Profundidad de curado

El siguiente gráfico muestra el aumento en la profundidad de curado con el tiempo, a 23±2°C / 50±5% RH.



PROPIEDADES TÍPICAS DEL MATERIAL CURADO

Curado durante 1 semana a 25 °C

Propiedades Físicas:

Dureza Shore, ISO 868 Durómetro A	33
Alargamiento, a rotura, ISO 37, %	500
Resistencia a tracción, ISO 37	N/mm ² 3,3 (psi) (475)
Módulo a tracción, ISO 37	N/mm ² 0,8 (psi) (120)

Propiedades Eléctricas:

Resistividad Volumétrica, IEC 60093, Ω·cm	7,3×10 ¹⁴
Resistencia Dieléctrica, IEC 60243-1, kV/mm	23,3
Constante Dieléctrica, IEC 60250:	
1 MHz	2,4

COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL CURADO

Propiedades del adhesivo

Tras 14 días a 25 °C

Resistencia a cortadura en placas, ISO 4587:

Ensayo en piezas de aluminio AG3 (línea de unión de 1 mm de espesor)	N/mm ² 2,5 (psi) (360)
Probetas de ensayo de aluminio AG3 (junta de 1 mm de espesor)	N/mm ² 1,7 (psi) (250)
Alcald	N/mm ² 1,6 (psi) (230)
Ensayo en piezas de aluminio AG3 (junta de 1 mm de espesor)	

RESISTENCIA TÍPICA MEDIOAMBIENTAL

Propiedades Típicas de Inmersión en Fluidos

Envejecido @ 150°C durante 70 horas:

Aceite de motor:

Propiedades Físicas:

Aumento de Volumen, %	21
Dureza Shore, ISO 868 Durómetro A	14
Módulo a tracción, ISO 37	N/mm ² 0,4 (psi) (60)
Resistencia a tracción, ISO 37	N/mm ² 1,65 (psi) (240)
Alargamiento, a rotura, ISO 37, %	590

INFORMACIÓN GENERAL

Este producto no está recomendado para uso con oxígeno puro y/o sistemas ricos en oxígeno, y no se debe elegir como sellador de cloro u otros oxidantes fuertes.

Para información sobre seguridad en la manipulación de este producto, consultar la Hoja de Seguridad (HS).



Modo de empleo

1. Para un mejor comportamiento, las superficies a unir deben estar limpias y sin grasa.
2. El curado por humedad comienza inmediatamente después de exponer el producto al aire, por lo que las piezas a ensamblar deberán acoplarse en el transcurso de pocos minutos, tras la dosificación del producto.
3. Permitir el curado de la unión (ej. siete días), antes de someterlo a cargas operativas severas.
4. El exceso de material puede limpiarse fácilmente con disolventes no polares.

No utilizar como especificaciones del producto

Los datos técnicos que aquí se mencionan se deben utilizar únicamente como referencia. Contactar con el departamento técnico para asistencia y recomendaciones sobre las especificaciones de este producto.

Almacenamiento

Almacenar el producto en sus envases, cerrados y en lugar seco. La información sobre el almacenamiento puede estar indicada en el etiquetado del envase del producto.

Almacenamiento óptimo: 8°C a 21°C. El almacenamiento a temperatura inferior a 8°C o superior a 28°C puede afectar negativamente a las propiedades del producto. El material que se extraiga del envase puede resultar contaminado durante su uso. No retornar el producto sobrante al envase original. Henkel Corporation no puede asumir ninguna responsabilidad por el producto que haya sido contaminado o almacenado en otras condiciones distintas a las previamente indicadas. Si se necesita información adicional, por favor contactar con el Departamento Técnico o su Representante local.

Conversiones

$(^{\circ}\text{C} \times 1,8) + 32 = ^{\circ}\text{F}$
 $\text{kV/mm} \times 25,4 = \text{V/mil}$
 $\text{mm} / 25,4 = \text{"}$
 $\mu\text{m} / 25,4 = \text{mil}$
 $\text{N} \times 0,225 = \text{lb}$
 $\text{N/mm} \times 5,71 = \text{lb/"}$
 $\text{N/mm}^2 \times 145 = \text{psi}$
 $\text{MPa} \times 145 = \text{psi}$
 $\text{N}\cdot\text{m} \times 8,851 = \text{lb}\cdot\text{"}$
 $\text{N}\cdot\text{mm} \times 0,142 = \text{oz}\cdot\text{"}$
 $\text{mPa}\cdot\text{s} = \text{cP}$

Exoneración de responsabilidad**Nota:**

La información proporcionada en esta Hoja de Datos Técnicos (HDT), incluyendo las recomendaciones de uso y aplicación del producto, se basan en nuestro conocimiento y experiencia con el producto a la fecha de elaboración de esta HDT. El producto puede tener una gran variedad de aplicaciones y diferentes condiciones de trabajo y aplicación de acuerdo al medio en que se encuentre, las cuales se encuentran fuera de nuestro control. Por lo tanto, Henkel no será responsable de la idoneidad de nuestro producto en sus procesos y condiciones de producción para el cual se utilice, ni de las aplicaciones o resultados que se esperen del mismo. Recomendamos que lleve a cabo sus propias pruebas para confirmar el funcionamiento de nuestro producto.

Se excluye cualquier responsabilidad sobre la información en la Hoja de Datos Técnicos o en cualquier otra recomendación oral o escrita relativa al producto en cuestión, excepto en los casos en que así se haya acordado expresamente o en caso de muerte o lesiones causados por nuestra negligencia o cualquier otra responsabilidad derivada de las leyes aplicables en materia de productos defectuosos.

En el caso de que los productos sean suministrados por Henkel Belgium NV, Henkel Electronic Materials NV, Henkel Nederland BV, Henkel Technologies France SAS y Henkel France SA tengan en cuenta también lo siguiente:

En el caso de que a pesar de ello Henkel fuera considerada responsable en virtud de cualquier fundamento jurídico, la responsabilidad de Henkel en ningún caso superará el importe de la entrega correspondiente.

En el caso de que los productos sean suministrados por Henkel Colombiana, S.A.S., será de aplicación el siguiente descargo de responsabilidad:

La información proporcionada en esta Hoja de Datos Técnicos (HDT), incluyendo las recomendaciones de uso y aplicación del producto, se basan en nuestro conocimiento y experiencia con el producto a la fecha de elaboración de esta HDT. Por lo tanto, Henkel no será responsable de la idoneidad de nuestro producto en sus procesos y condiciones de producción para el cual se utilice, ni de las aplicaciones o resultados que se esperen del mismo. Recomendamos que lleve a cabo sus propias pruebas para confirmar el funcionamiento de nuestro producto.

Se excluye cualquier responsabilidad sobre la información en la Hoja de Datos Técnicos o en cualquier otra recomendación oral o escrita relativa al producto en cuestión, excepto en los casos en que así se haya acordado expresamente o en caso de muerte o lesiones causados por nuestra negligencia o cualquier otra responsabilidad derivada de las leyes aplicables en materia de productos defectuosos.

En el caso de que los productos sean suministrados por Henkel Corporation, Resin Technology Group, Inc., o Henkel Canada Corporation, será de aplicación el siguiente descargo de responsabilidad:

Los datos aquí contenidos se facilitan sólo para información, y se consideran fiables. No se pueden asumir responsabilidades de los resultados obtenidos por otros sobre cuyos métodos no se tiene control alguno. Es responsabilidad del usuario determinar la aptitud de los métodos de producción aquí mencionados para sus propios fines, y adoptar las precauciones que sean recomendables para proteger a toda persona o propiedad de los riesgos que pueda entrañar la manipulación y utilización de los productos. A la vista de lo anterior, **Henkel Corporation declina específicamente todas las garantías explícitas o implícitas, incluyendo garantías de comercialización o instalación para un propósito en particular, producidas por la venta o uso de productos de Henkel Corporation. Henkel Corporation declina específicamente cualquier responsabilidad por daños de cualquier tipo, incidentales o derivados como consecuencia del uso de los productos, incluyendo la pérdida de ganancias.**

La exposición aquí ofrecida sobre procesos o composiciones, no debe interpretarse como una afirmación de que estos estén libres de patentes que obran en poder de otras firmas, o que son licencias de Henkel Corporation, que pueden cubrir dichos procesos o composiciones. Se recomienda a cada posible usuario que pruebe la aplicación propuesta antes de su utilización habitual, empleando estos datos como guía. Este producto puede estar cubierto por una o varias patentes estadounidenses o de otras nacionalidades, o por solicitudes.

Uso de la Marca Registrada

A no ser que se indique lo contrario, todas las marcas registradas de este documento son marcas de Henkel Corporation en EE.UU. y en cualquier otro lugar. ® indica una marca registrada en la Oficina de Patentes y Marcas de EE.UU.

Referencia 1.1

Henkel Americas
+860.571.5100

Henkel Europe
+49.89.9268.0

Henkel Asia Pacific
+81.45.758.1810

Para acceso directo al dpto. comercial y servicio técnico locales, visite: www.henkel.com/industrial

Anexo C. Elementos comerciales

Anexo C.1. Niveladores.

Elementos y dispositivos para maquinaria
Patines articulados / Roscas de unión

Patines articulados

EH 22590.



Descripción del producto

Utilizados como pies o apoyos.

Material

Rótula

- Acero de decoletaje, templado por inducción, pavonado
- Acero inoxidable 1.4305

Rótula con eje

- Acero termotratado, pavonado
- Acero inoxidable 1.4305

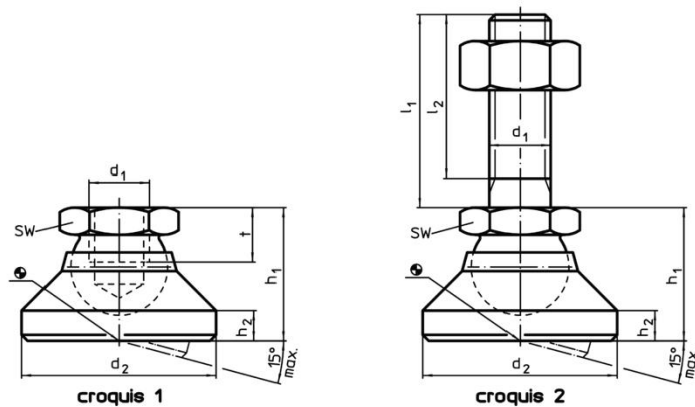
Contratuercas

- Acero, pavonado, ISO 4032
- Acero, pavonado, DIN 934
- Acero inoxidable A2, ISO 4032
- Acero inoxidable A2, DIN 934


Patín



- Acero termotratado, pavonado
- Acero inoxidable 1.4305
- Termoplástico POM, blanco

Dibujo



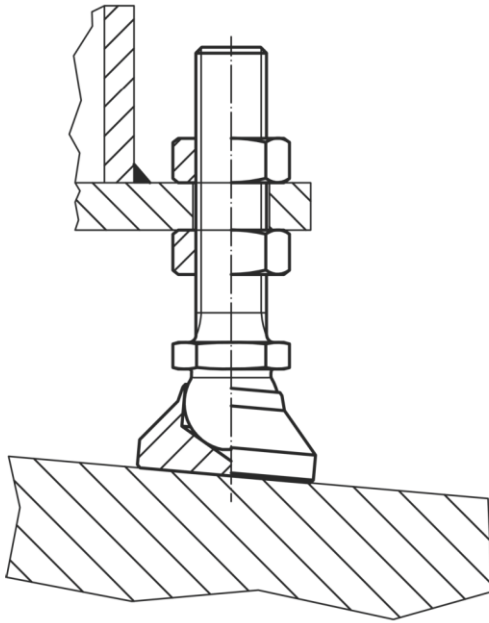
Información para el pedido

Dimensiones							SW	Capacidad de carga estática máx.				Referencia
d ₁	l ₁	d ₂	l ₂	h ₁	h ₂	t			min.	máx.		
[mm]							[mm]	[kN]	[°C]		[g]	
patín y rotula – croquis 1, Acero termotratado												
M 6	–	20	–	14	2,5	5,0	10	10	–	250	15	22590.0006
M 8	–	25	–	18	4,0	7,0	13	18	–	250	33	22590.0008
M10	–	32	–	22	5,0	9,0	17	20	–	250	66	22590.0010
M12	–	40	–	26	6,0	11,0	19	35	–	250	112	22590.0012
M16	–	50	–	32	7,0	13,5	24	45	–	250	220	22590.0016
M20	–	60	–	42	8,0	17,0	30	55	–	250	413	22590.0020
M24	–	60	–	45	9,5	19,0	36	65	–	250	462	22590.0024

Dimensiones							SW	Capacidad de carga estática máx.	 mín. máx.		 [g]	Referencia
d ₁	l ₁	d ₂	l ₂	h ₁	h ₂	t						
[mm]												
patín y rótula – croquis 1, Acero inoxidable												
M 6	–	20	–	14	2,5	5,0	10	8	–	250	15	22590.0206
M 8	–	25	–	18	4,0	7,0	13	14	–	250	33	22590.0208
M10	–	32	–	22	5,0	9,0	17	16	–	250	66	22590.0210
M12	–	40	–	26	6,0	11,0	19	28	–	250	112	22590.0212
M16	–	50	–	32	7,0	13,5	24	36	–	250	220	22590.0216
M20	–	60	–	42	8,0	17,0	30	44	–	250	413	22590.0220
M24	–	60	–	45	9,5	19,0	36	52	–	250	462	22590.0224

Elementos y dispositivos para maquinaria
Patines articulados / Roscas de unión

Ejemplo de aplicación



Anexo C.2. Ruedas Alex.



Ficha técnica

Rueda TV-TN 2-0020

Código				Tipo cojinete Eje					
2-0020	100	300	35	—	106x86	86/80x60	8	140	81



Características

Fabricada con chapa de acero embutido hasta 5m/m de espesor.
Acabado bicromatizado de alta resistencia al óxido.
Doble rodamiento a bolas reforzado con pistas de rodadura endurecidas.
Protector anti-polvo en el cojinete del soporte.
Fabricadas según normas europeas en 12532.

Datos técnicos

Diámetro: 100 mm

Carga: 300 kg

Tipo de cojinete: Cojinete Liso

Ancho de Banda de rodadura: 35 mm

Medidas de placa superior: 106x86 mm

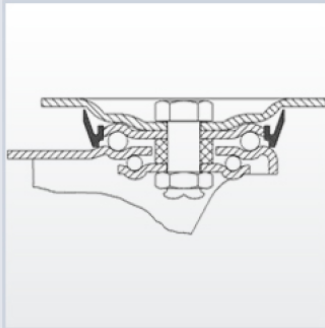
Distancia entre agujeros: 86/80x60 mm

Diámetro agujero sujeción platina: 8 mm

Altura total: 140 mm

Radio de giro: 81 mm

Archivos CAD



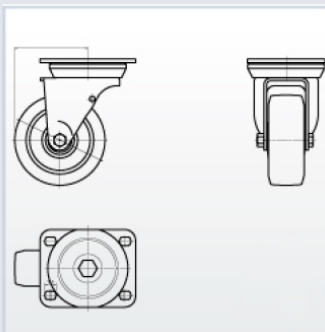
Rueda

TN (Nylon)

Rueda de nylon extrafuerte

Rango de temperatura: -30° ÷ +80°

Productos relacionados



Código: 2-0025



Código: 2-1618

Ruedas Alex: C/ Can Sellares, 31 (Pol. Ind. Nort-Est) - 08740 - Sant Andreu de la Barca, Barcelona (Spain). Todos los derechos reservados. Ruedas Alex, S.L.U. Tel.: 93.682.80.20 | Fax: 93.682.80.22 | E mail: info@alex.es | Visite nuestra web: www.alex.es

Anexo C.3. Cáncamos.



GN 586

Anillos de carga (giratorios)



Especificación

Anillas de carga

Acero, material alemán n.º 1.6541

- forjado
- templado de alta resistencia
- sometido a ensayo de tracción electromagnética 100 % EN 1677

Soporte de instalación

- forjado
- templado de alta resistencia
- sometido a ensayo de tracción electromagnética 100 %
- revestido de plástico de color rosa

Espárrago

Acero,

Resistencia a la tensión clase 10.9 (1000 N/mm²)

Acabado: Delta Tone

Cojinete

Acero

zincado galvanizado

Información

Las anillas de carga GN 586 se pueden plegar y girar en todas las direcciones.

Ofrecen una capacidad de carga elevada y están probadas para cumplir con.











La capacidad de carga nominal presentada en la tabla anterior está claramente marcada en perno de acoplamiento. Se refiere a la aplicación de carga más desfavorable de los tipos de carga que aparecen en el lado opuesto.

Las anillas de carga GN 586 cumplen con las directrices de ingeniería mecánica 2006 / 42 / EG y han sido sometidas a pruebas por BG.

El transpondedor RFID integrado indica e identifica claramente la eslinga y el mecanismo de elevación, por ejemplo durante las inspecciones regulares exigidas.

- [Instrucciones de funcionamiento GN 586](#)

Datos Técnicos

Method of mounting										
Número	1	1	2	2	2	2	2	3 and 4	3 and 4	3 and 4
Angles of inclination	0°	90°	0°	90°	0° to 45°	45° to 60°	asymm.	0° to 45°	45° to 60°	asymm.
Factor	1	1	2	2	1.4	1	1	2.1	1.5	1

M 8	0.30 t	0.30 t	0.60 t	0.60 t	0.42 t	0.30 t	0.30 t	0.63 t	0.42 t	0.30 t
M 10	0.63 t	0.63 t	1.26 t	1.26 t	0.88 t	0.63 t	0.63 t	1.32 t	0.95 t	0.63 t
M 12	1.00 t	1.00 t	2.00 t	2.00 t	1.40 t	1.00 t	1.00 t	2.10 t	1.50 t	1.00 t
M 16	1.50 t	1.50 t	3.00 t	3.00 t	2.10 t	1.50 t	1.50 t	3.15 t	2.25 t	1.50 t
M 20	2.50 t	2.50 t	5.00 t	5.00 t	3.50 t	2.50 t	2.50 t	5.25 t	3.75 t	2.50 t
M 24	4.00 t	4.00 t	8.00 t	8.00 t	5.60 t	4.00 t	4.00 t	8.40 t	6.00 t	4.00 t
M 30	5.00 t	5.00 t	10.00 t	10.00 t	7.00 t	5.00 t	5.00 t	10.50 t	7.50 t	5.00 t

Instrucciones de seguridad

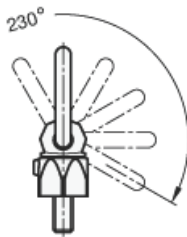
El valor dado en las guías se refiere a la capacidad de carga de la correspondiente argolla de suspensión DIN 582. ¡Si dicho valor supera la capacidad de carga, la utilización de argollas de suspensión DIN 582 no está permitida!

La superficie de contacto del cáncamo giratorio GN 586 debe de estar lisa y en ángulo recto respecto al agujero cónico.

Una vez fijado a la pieza, el perno de acoplamiento debe poder girar libremente 360°. Sólo se puede utilizar el perno hexagonal suministrado con la anilla de carga. La anilla de carga debe moverse libremente y no debe sujetarse mediante bordes.

Antes de aplicar la carga, tanto la anilla de carga como el perno de acoplamiento deben girarse en la dirección de la carga, y la carga permitida dependerá de la dirección de la anilla de carga. Las anillas de carga giratorias no son adecuadas para ciclos de rotación frecuentes sometidos a carga.

Los valores de carga especificados son válidos para una profundidad mínima de inclusión del perno 1 x diámetro nominal de rosca en acero con una resistencia mínima a la tracción de 37 kp/mm², a una temperatura de funcionamiento de entre -40 °C y +100 °C. Se pueden solicitar otras capacidades de carga para condiciones diferentes.



Anexo C.4. Acoplamiento de junta metálica ER-500



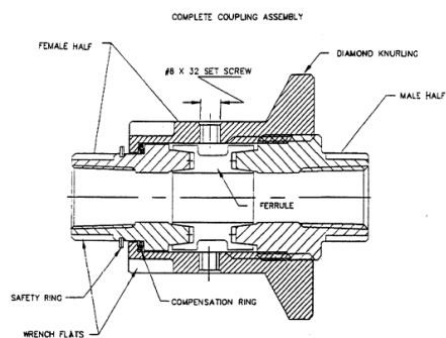
Núñez de Balboa, 118, 1.º C
28003 Madrid
Teléfs. 915 638 860 / 915 612 506
Fax: 915 634 663

El acoplamiento **ER-500** es totalmente metálico, está diseñado para el conexionado rápido de la manguera de alta temperatura **HOSE-700** y el conector de vacío **CV-65-400**, con juntas de alta resistencia térmica.

Es ideal para su uso en autoclaves a altas presiones y temperaturas. Su diseño ofrece un flujo de aire sin restricciones ni obstáculos al no tener reducción en la sección de paso de la línea de vacío. El acoplamiento **ER-500**, lleva juntas metálicas de larga duración y que en caso de necesidad, pueden ser reemplazadas.

Al tener las juntas diferente coeficiente de dilatación térmica que el resto del acoplamiento, el cierre que efectúan mejora conforme aumenta la temperatura. Las tolerancias exigidas a las juntas son altamente exigentes. Se aconseja su sustitución cada 80 – 100 ciclos.

Un apriete manual es suficiente para lograr un cierre óptimo tanto en presión como en vacío, y con temperaturas hasta los 538 °C



CARACTERISTICAS TECNICAS

Construcción	Acero inoxidable
Tipo de Junta	Metálica
Máxima temperatura de trabajo	538 °C
Presión que soporta	1.000 psi

GAMA DE SUMINISTRO

Con entradas en hembra de rosca ¼" NPT

Índice de ilustraciones

ILUSTRACIÓN I-1. AIRBUS A380. [FOTOGRAFÍA DE MASTER FILM, A. DOUMENJOU].	9
ILUSTRACIÓN I-2. EJEMPLO DE ESTRUCTURA DE MATERIAL COMPUESTO RIGIDIZADA POR UNOS LARGUEROS (PROYECTO ISINTHER, PROPIEDAD DE FIDAMC) [9].	10
ILUSTRACIÓN I-3. PRINCIPALES PARTES DE LA CAJA QUE FORMA UN ALA DE AVIÓN (WINGBOX) [10].	11
ILUSTRACIÓN I-4. EJEMPLO DE MÁQUINA DE ENCINTADO AUTOMÁTICO PARA COMPONENTES ESTRUCTURALES AERONÁUTICOS A GRAN ESCALA. (TORRESLAYUP, GRUPO MTORRES).	12
ILUSTRACIÓN I-5. FOTOGRAFÍA DE LA SEDE DE SERTEC. PARQUE TECNOGETAFE. GETAFE, 2016 [ROLLAND K., GOOGLE MAPS].	13
ILUSTRACIÓN I-6. ÚTIL DE LAMINACIÓN "2014/32-UT-01" (SERTEC).	14
ILUSTRACIÓN I-7. ÚTIL DE LAMINACIÓN "2015-15-UT-01" (SERTEC).	14
ILUSTRACIÓN II-1. CONCEPTO DE LOS LARGUEROS CON DIMENSIONES GENÉRICAS [IMAGEN OFRECIDA EN LA ESPECIFICACIÓN DEL CLIENTE].	16
ILUSTRACIÓN II-2. DIMENSIONES DE LA PLACA. EN AZUL LA ZONA PERFORADA [IMAGEN OFRECIDA EN LA ESPECIFICACIÓN DEL CLIENTE].	18
ILUSTRACIÓN II-3. VISTA DE PLANTA DEL LARGUERO CENTRAL [IMAGEN OFRECIDA EN LA ESPECIFICACIÓN DEL CLIENTE].	19
ILUSTRACIÓN II-4. VISTA DE SECCIÓN DEL LARGUERO CENTRAL [IMAGEN OFRECIDA EN LA ESPECIFICACIÓN DEL CLIENTE].	19
ILUSTRACIÓN II-5. VISTA DE PLANTA DE LOS LARGUEROS EXTERIORES [IMAGEN OFRECIDA EN LA ESPECIFICACIÓN DEL CLIENTE].	20
ILUSTRACIÓN II-6. VISTA DE SECCIÓN DE LOS LARGUEROS EXTERIORES [IMAGEN OFRECIDA EN LA ESPECIFICACIÓN DEL CLIENTE].	20
ILUSTRACIÓN II-7. DETALLE DE ESTAJE ESTÁNDAR [IMAGEN OFRECIDA EN LA ESPECIFICACIÓN DEL CLIENTE].	21
ILUSTRACIÓN II-8. ESQUEMA PARA LA COLOCACIÓN DE LOS LARGUEROS EN LA PLACA [IMAGEN OFRECIDA EN LA ESPECIFICACIÓN DEL CLIENTE].	21
ILUSTRACIÓN III-1. COMPOSICIÓN DE MATERIAL COMPUESTO [ADAPTACIÓN DE "FUNDAMENTALS OF COMPOSITE MANUFACTURING". STRONG, A. BRENT].	27
ILUSTRACIÓN III-2. ESQUEMA DE EJEMPLO DE APILADO DE CAPAS CON FIBRAS CON DISTINTAS ORIENTACIONES [17].	27
ILUSTRACIÓN III-3. DETALLE DEL GRABADO EN LA PLACA PARA LA ORIENTACIÓN DE LAS FIBRAS [CAPTURA DEL DISEÑO EN CATIA V5].	28
ILUSTRACIÓN III-4. ENSAMBLAJE DEL AIRBUS A350 XWB, FORMADO PRINCIPALMENTE POR MATERIAL COMPUESTO. TOULOUSE, FRANCIA. [SCLNEWS.COM].	32
ILUSTRACIÓN III-5. MATERIALES UTILIZADOS EN EL CUERPO DEL BOEING 787 [14].	33
ILUSTRACIÓN III-6. AUTOCLAVE GIGANTE EN UNA DE LAS PLANTAS DE FABRICACIÓN DE BOEING (FREDERICKSON, WASHINGTON) [BOEINGIMAGES.COM].	36
ILUSTRACIÓN III-7. MÁQUINA DE ENCINTADO AUTOMÁTICO DESARROLLADA POR MTORRES (ATL) [INSTALACIONES DE FIDAMC].	37

ILUSTRACIÓN III-8. AEROHEAT. PRODUCTO DEL CATÁLOGO DE OKAZAKI [OKAZAKI-MFG.CO.UK].	39
ILUSTRACIÓN III-9. RESISTENCIAS ELÉCTRICAS TUBULARES [IESSOLER.COM].	40
ILUSTRACIÓN III-10. PLACAS DE VERMICULITA [TALLERALEPH.ES].	41
ILUSTRACIÓN III-11. BANDEJA METÁLICA SIN RECUBRIMIENTO [CAPTURA DEL DISEÑO EN CATIA V5].	42
ILUSTRACIÓN III-12. BANDEJA METÁLICA CON RECUBRIMIENTO [CAPTURA DEL DISEÑO EN CATIA V5].	42
ILUSTRACIÓN III-13. LANA DE ROCA PROCESADA PARA SU USO [ROCKWOOL.ES].	43
ILUSTRACIÓN III-14. PANELES DE LANA DE ROCA LATERALES [CAPTURA DEL DISEÑO EN CATIA V5].	44
ILUSTRACIÓN III-15. PANELES DE LANA DE ROCA INFERIORES [CAPTURA DEL DISEÑO EN CATIA V5].	44
ILUSTRACIÓN III-16. DESPIECE DEL PANEL DE LANA DE ROCA INFERIOR EMBEBIDO POR DOS PLACAS METÁLICAS [CAPTURA DEL DISEÑO EN CATIA V5].	45
ILUSTRACIÓN III-17. BARRAS DE TEFLÓN COMERCIALES [SOLUCOESINDUSTRIAS.COM.BR].	46
ILUSTRACIÓN III-18. EJEMPLO DE JUNTAS KLINGER [ARANDELASYJUNTAS.COM].	47
ILUSTRACIÓN III-19. GRÁFICO PRESIÓN/TEMPERATURA [JUNTAS BESMA S.A].	48
ILUSTRACIÓN III-20. DETALLE DEL DESPIECE DEL CONJUNTO PLACA, JUNTA, BANDEJA [CAPTURA DEL DISEÑO EN CATIA V5].	50
ILUSTRACIÓN III-21. DETALLE DE LA APLICACIÓN DEL LOCTITE SI 5399 [CAPTURA DEL DISEÑO EN CATIA V5].	51
ILUSTRACIÓN III-22. NIVELADORES HALDER [HALDER.COM].	51
ILUSTRACIÓN III-23. RUEDA ALEX TV-TN 2-0020 [ALEX.ES].	52
ILUSTRACIÓN III-24. CÁNCAMO GN 586 [ELESA-GANTER.COM].	52
ILUSTRACIÓN III-25. ACOPLAMIENTO ESPECIAL "ER-500" [INP96.ES].	53
ILUSTRACIÓN IV-1. DISEÑO FINAL DEL UTILLAJE [CAPTURA DEL DISEÑO EN CATIA V5].	55
ILUSTRACIÓN IV-2. DISEÑO FINAL DEL UTILLAJE OCULTANDO CARCASAS Y PLACA DE LAMINADO [CAPTURA DEL DISEÑO EN CATIA V5].	56
ILUSTRACIÓN IV-3. CONJUNTO SUPERIOR "TFG-10000" [CAPTURA DEL DISEÑO EN CATIA V5].	58
ILUSTRACIÓN IV-4. DESPIECE DE CONJUNTO CÁMARA DE VACÍO "TFG-11000" [CAPTURA DEL DISEÑO EN CATIA V5].	60
ILUSTRACIÓN IV-5. CONJUNTO DE LA BANDEJA SOLDADA A LOS ELEMENTOS "TFG-11100" [CAPTURA DEL DISEÑO EN CATIA V5].	61
ILUSTRACIÓN IV-6. VISTA INFERIOR DEL CONJUNTO "TFG-11100" [CAPTURA DEL DISEÑO EN CATIA V5].	61
ILUSTRACIÓN IV-7. DETALLE DE LAS FIJAS Y EL TUBO DE SUCCIÓN. AMBOS SOLDADOS A LA BANDEJA [CAPTURA DEL DISEÑO EN CATIA V5].	62
ILUSTRACIÓN IV-8. CONJUNTO DE CALEFACCIÓN "TFG-11200-000" [CAPTURA DEL DISEÑO EN CATIA V5].	63
ILUSTRACIÓN IV-9. DETALLE DE LAS PLETINAS, LAS JUNTAS PLANAS Y LA TORNILLERÍA [CAPTURA DEL DISEÑO EN CATIA V5].	63
ILUSTRACIÓN IV-10. BANDEJA REPRESENTADA TRANSPARENTE Y PLETINAS DESPIEZADAS PARA DETALLAR LA UNIÓN [CAPTURA DEL DISEÑO EN CATIA V5].	64
ILUSTRACIÓN IV-11. PLACA DE LAMINADO CON LOS CAJEADOS, LAS PERFORACIONES, LOS GRABADOS PARA LAS REFERENCIAS, Y LAS PERFORACIONES PARA LOS CÁNCAMOS [CAPTURA DEL DISEÑO EN CATIA V5].	65
ILUSTRACIÓN IV-12. DETALLE DE LOS CAJEADOS CON LOS ESTAJES NECESARIOS PARA LA COLOCACIÓN DE LOS LARGUEROS [CAPTURA DEL DISEÑO EN CATIA V5].	65
ILUSTRACIÓN IV-13. DETALLE DE LA COLOCACIÓN DE LAS RESISTENCIAS Y EL SOPORTE SOBRE EL QUE SE APOYAN [CAPTURA DEL DISEÑO EN CATIA V5].	66

ILUSTRACIÓN IV-14. CONJUNTO DE PANELES AISLANTES "TFG-12000" [CAPTURA DEL DISEÑO EN CATIA V5].	67
ILUSTRACIÓN IV-15. DETALLE DE AGUJEROS Y CAJEADOS [CAPTURA DEL DISEÑO EN CATIA V5].	67
ILUSTRACIÓN IV-16. CONJUNTO INFERIOR CON DESPIECE DE UNA DE LAS TAPAS [CAPTURA DEL DISEÑO EN CATIA V5].	69
ILUSTRACIÓN IV-17. SOLDADURA ("TFG-21000"). FORMA LA ESTRUCTURA SOBRE LA QUE SE APOYA EL CONJUNTO SUPERIOR [CAPTURA DEL DISEÑO EN CATIA V5].	70
ILUSTRACIÓN IV-18. TAPAS EXTERIORES ("TFG-22000") CON DESPIECE DE UNA DE LAS CHAPAS [CAPTURA DEL DISEÑO EN CATIA V5].	71
ILUSTRACIÓN IV-19. SE MUESTRA LA TAPA EXTERIOR DE FORMA TRANSPARENTE PARA APRECIAR LA COLOCACIÓN DE LOS ELEMENTOS CONDUCTORES [CAPTURA DEL DISEÑO EN CATIA V5].	72
ILUSTRACIÓN IV-20. DETALLE DE LOS TUBOS DE TEFLÓN Y SU ANCLAJE A LA PATA, OCULTANDO LA TAPA EXTERIOR [CAPTURA DEL DISEÑO EN CATIA V5].	72
ILUSTRACIÓN IV-21. PUESTO DE MANDO Y SU ANCLAJE A LA PATA [CAPTURA DEL DISEÑO EN CATIA V5].	73
ILUSTRACIÓN IV-22. RUEDAS Y PIE DE MÁQUINA QUE FORMAN LAS COMERCIALES [CAPTURA DEL DISEÑO EN CATIA V5].	74
ILUSTRACIÓN IV-23. DETALLE DE LA TORNILLERÍA (EN NARANJA) QUE UNE LOS SUBCONJUNTOS.	74
ILUSTRACIÓN IV-24. CONJUNTO DE SISTEMA DE SUCCIÓN "TFG-30000" [CAPTURA DEL DISEÑO EN CATIA V5].	75
ILUSTRACIÓN IV-25. DETALLE DEL ANCLAJE A LA CHAPA INFERIOR [CAPTURA DEL DISEÑO EN CATIA V5].	76

CAPÍTULO VII

Bibliografía

1. **Kalanchiam, Muniyasamy y Chinnasamy, Moorthy.** Advantages of Composite Materials in Aircraft. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*. 2012, Vol. 6, 11.
2. **Oxford University Press.** Case Study of Aircraft Wing Manufacture. [En línea] 2003.
3. **U.S. Department of Energy.** *Innovating Clean Energy Technologies in Advanced Manufacturing*. 2015. Vol. Composites materials.
4. **Contratista, Empresa.** *Especificación del proyecto*. 2016.
5. **California Institute of Technology (NASA).** Design and manufacturing guideline for aerospace composites. *Jet Propulsion Laboratory*. [En línea] <https://oce.jpl.nasa.gov/>.
6. *Thermoplastic wings on the horizon*. **Black, Sara.** 2016, Composites World.
7. *Thermoplastic composites technology: A view from Europe*. **Black, Sara.** 2015, Composites World.
8. **Fundación para la Investigación, Desarrollo y Aplicaciones de Materiales Compuestos.** Termoplástico. *FIDAMC*. [En línea] <http://fidamc.es/es-es/Proyectos/Termoplastico>.

9. **Fundación para la Investigación, Desarrollo y Aplicaciones de Materiales Compuestos** . Proyecto ISINTHER. *FIDAMC*. [En línea] <http://fidamc.es/es-es/Proyectos/Detalle-Proyecto/Article/13/ISINTHER>.
10. **Niu, Michael Chun-Yung**. *Airframe structural design*. 1995. pág. 141.
11. **Grupo MTorres**. Sobre nosotros. *MTorres*. [En línea] <http://www.mtorres.es/es/mtorres/sobre-nosotros>.
12. **SerTec**. SerTec S.L. - Servicios de Tecnología, Ingeniería e Informática. [En línea] www.sertec.net.
13. **Tecnogetafe**. Sertec. [En línea] <http://www.tecnogetafe.es/empresas/sertec/>.
14. **Nayak, Nikhil V**. Composite Materials in Aerospace Applications. *International Journal of Scientific and Research Publications*. 2014, Vol. IV.
15. **Oradea, Petru Adrian Pop. University of Oradea**. Manufacturing process and applications of composite material. [En línea] 2010.
16. **United States. Congress. Office of Technology Assessment**. *Advanced Materials by Design*. Washington, D.C : s.n., 1988.
17. **LANXESS AG**. Press kit. *Lanxess*. [En línea]
18. **Mallick, P.K**. *Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design*. s.l. : Taylor & Francis Group, 2007.
19. **Rodríguez, José Manuel Rodríguez**. Estructuras sandwich. *Materiales wikispaces*. [En línea] <https://materiales.wikispaces.com/Estructuras+sandwich>.
20. Why CFRP. *Composites World*. [En línea] 2010.
21. **Strong, A. Brent**. *Fundamentals of composite manufacturing: Materials, methods and application*. s.l. : Society of Manufacturing Engineers, 2008.
22. **Day, Dwayne A**. Composites and Advanced Materials. *U.S. Centennial of Flight Commision*. [En línea]
23. *Past Experiences and Future Trends for Composite Aircraft Structure*. **Ilcewicz, Larry**. [ed.] Montana State University Seminar. 2009.

24. **Mrazova, Maria.** Advanced composite materials of the future in aerospace industry. *INCAS BULLETIN*. 2013, Vol. V, 3.
25. *Boeing 787 from the Ground Up.* **Hale, Justin (Boeing 787 Deputy Chief Mechanic).** Aero Magazine.
26. **The Faculty of Operation and Economics of Transport The Air Transport Department.** *Advanced composite materials of the future in aerospace industry.*
27. *The Composite Evolution.* **Werfelman, Linda.** Marzo de 2007, AeroSafety World, pág. 18.
28. **Kozaczuk, Konrad.** *Automated fiber placemenet systems overview.* Institute of aviation, center for composite Technologies al. Krakowska. 2016.
29. **Porter, Kevin.** *An Introduction to Composite Products: Design, Development and Manufacture.* s.l. : Springer, 1996.
30. **Lee, Stuart M.** *Handbook of Composite Reinforcements.* s.l. : Wiley, 1992.
31. **Mitsubishi Heavy Industries.** Production Technology of Large-Scale Composite Wings. *Mitsubishi Heavy Industries Technical Review.* Diciembre de 2014.
32. *European Conference On Composite Materials.* **Fundación para la Investigación, Desarrollo y Aplicación de Materiales Compuestos.** Sevilla : s.n., 2014.
33. **U.S. Department of Energy .** *Improving Process Heating System Performance: A Sourcebook for Industry.* 2016.
34. *Automated Fiber Placement with In-situ UV Curing.* **State Key Laboratory for Manufacturing Systems Engineering.** University, Xi'an Jiaotong.
35. **Okazaki Manufacturing Company.** Heaters. [En línea] <http://okazaki-mfg.co.uk>.
36. **Fuego Difusión.** La Vermiculita. [En línea] <http://fuegodifusion.es>.
37. **Aduro.** ¿Qué es la vermiculita? [En línea] <http://www.aduro.es>.
38. **Flores, Ángel.** Aislamiento térmico, tipos y recomendaciones . *Grupo Unamacor.* [En línea]
39. **Isover Saint-Gobain.** Lanas de Roca ISOVER. [En línea] <https://www.isover.es/>.

40. **Rockwool India.** Manufacturing. [En línea] <http://www.rockwoolindia.com>.
41. **Juntas Besma S.A.** Catálogo de juntas Klinger. [En línea]
42. **Cripps, David.** Fibre properties. *NetComposites Ltd.* [En línea] <http://netcomposites.com/>.
43. **Miravete, Antonio.** *Materiales compuestos*. s.l. : Reverte, 2002.
44. **A.R. Bunsell, J. Renard.** Fundamentals of Fibre Reinforced Composite Materials.
45. The CH650 Wings Design. *Zenith Aircraft.* [En línea] <http://www.zenithair.net/design-650-wings/>.
46. Larguero. Wikipedia. *Wikipedia.* [En línea] <https://es.wikipedia.org/wiki/Larguero>.
47. Aleph Taller Showroom. [En línea] <http://www.talleraleph.es>.
48. Juntas de cartón comprimido. *arandelasyjuntas.* [En línea] <http://www.arandelasyjuntas.com/es/202016/Juntas-carton-comprimido-.htm>.
49. **Marczak, Rato (Mechanical Engineering Professor at UFRGS, Porto Alegre, Brazil).** Reproducing stressed skin effect in aircraft models. *Ratomodeling.* [En línea] 2012.
50. **Zoagli.** Aircraft Wings View Photography. *abduzeedo.com.* [En línea] 2011.
51. **Body, Jenny.** *Airbus future composite wing*. s.l. : Airbus, 2007.
52. **U.S. Department of Energy.** *Innovating Clean Energy Technologies in Advanced Manufacturing*. Vol. Process Heating.
53. **Aleph taller Showroom.** Placa de vermiculita. [En línea] <http://www.talleraleph.es>.
54. **ISINTHER.** *FIDAMC.* [En línea] <http://fidamc.es/es-es/Proyectos/Detalle-Proyecto/Article/13/ISINTHER>.